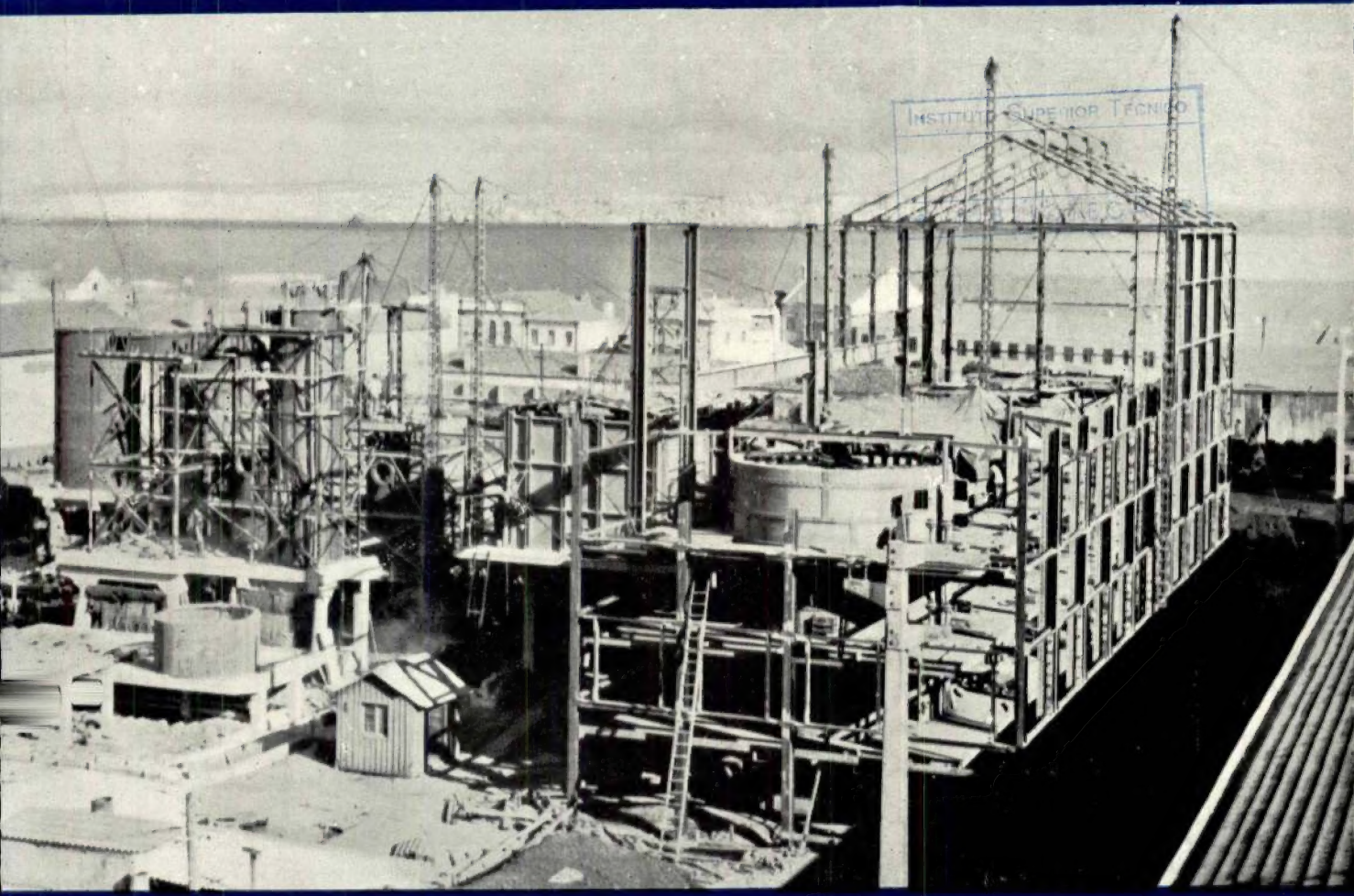
TÉCNICA



REVISTA DE ENGENHARIA
DOS ALUNOS DO I.S.T.

N.º 216-Novembro-1951

CIMENTO

SECIL

Fabricado pelos mais modernos processos e preferido para todos os trabalhos de responsabilidade.
Sacos de papel ou de juta com 50 Kg.
Barricas de 180 Kg.

S E C I L

COMPANHIA GERAL DE CAL E CIMENTO
RUA DO COMÉRCIO, 56, 3.º
LISBOA

Companhia União Fabril

Sede: Rua do Comercio, 49

LISBOA

O MAIOR AGRUPAMENTO INDUSTRIAL DA PENINSULA IBÉRICA

Fábricas em:
Alferrarede, Barreiro, Canas de Senhorim, Lisboa, Mirandela, Óbidos, Porto, Soure e Vila Nova de Gaia.

Superfosfatos, Sulfatos de Cobre, Enxofre, Sabões, Acidos, Oleos industriais e alimentares, Azeites, Torteame, Sacarias, Grossarias, Fios, Carpete- e Mangueiras.

Oficinas de:
Construções metalicas, Mecânica geral de Automoveis e Engrenagens

Fundição de:
AÇO, FERRO E OUTROS METAIS

Construção Naval

(Arrendataria do estaleiro naval da A. G. P. L.)

Metalurgia de Ouro e Prata — Refinação electrolitica

Cimento «Liz» hidrofugado «N»

PRÓPRIO PARA

IMPERMEABILIZAÇÃO DE OBRAS

REBOCOS, FUNDAÇÕES, PAREDES, ETC.

Substitue com vantagem de ordem técnica e económica todos os impermeabilizadores conhecidos.

Em sacos de papel de 50 quilos

Peçam instruções para o seu emprêgo

Sede: Rua do Cais de Santarém, 64, 1.º — LISBOA
Filial: Rua de Santo António, 190-A, 1.º — PORTO

Agentes em todo o País

NÚMERO
216
Novembro — 1951

TÉCNICA

REVISTA DE ENGENHARIA
DOS
ALUNOS DO INSTITUTO SUPERIOR TÉCNICO
Redacção e Administração: AV. ROVISCO PAIS, IST / LISBOA-N. / TEL. 70144 (linha 50)

DIRECTOR
MANUEL AGUDO MARQUES MAIA

ADMINISTRADOR
MANUEL ALVES MARQUES

CORPO REDACTORIAL
JOSÉ AUGUSTO DO NASCIMENTO
CARLOS LLOYD BRAGA
MANUEL DE VILHENA PERES MONIZ
SILVÉRIO ANTUNES COELHO

NUMERO AVULSO 11$00

ASSINATURAS:

	3 N.os	6 N.os	12 N.os
Continente e Ilhas	27$50	50$00	95$00
Colónias Portuguesas e Estrangeiro	—	55$00	100$00

EDITOR E PROPRIETARIO
ASS. DOS ESTUD. DO I. S. T.

COMPOSTO E IMPRESSO
NA
Tip. JORGE FERNANDES, L.DA
RUA CRUZ DOS POIAIS, 103
LISBOA

SUMÁRIO

CAPA — Fábrica de Ácido Sulfúrico de contacto, em construção nas instalações da C. U. F., no Barreiro.

Pág.

Conjugação de aproveitamentos na bacia do Tejo — O problema do Alvito
Pelo Prof. Eng.º Alberto Abecasis Manzanares 59

Traçados gráficos — Sua finalidade industrial
Pelo Eng.º F. A. Hermann Silvano 77

Dimensionamento experimental das estruturas
Por Manuel Rocha 79

Revestimentos em canais de regas
Pelo Eng.º Baptista Júnior 107

Vida Escolar e Associativa 127

Do Mundo Técnico 129

Biblioteca 132

OS ARTIGOS PUBLICADOS NESTA REVISTA SÃO DE EXCLUSIVA RESPONSABILIDADE DOS AUTORES

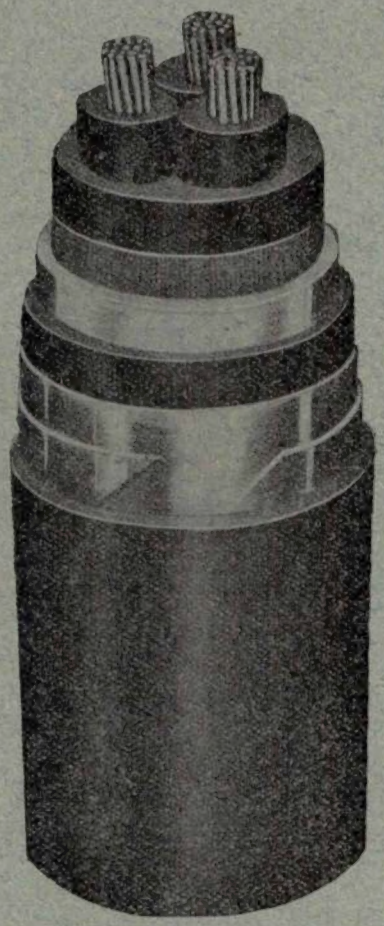
Ateliers de Constructions Electriques de Charleroi

BÉLGICA

Cabos armados para alta e baixa tensão. Cabos telefónicos. Fios e cabos de todos os tipos para instalações eléctricas

Transformadores

Motores



Alternadores

Aparelhagem

Disjuntores

de protecção

PARA ENTREGA IMEDIATA

Representantes gerais para Portugal e Colónias:

NOGUEIRA LIMITADA

107, RUA DOS DOURADORES — LISBOA

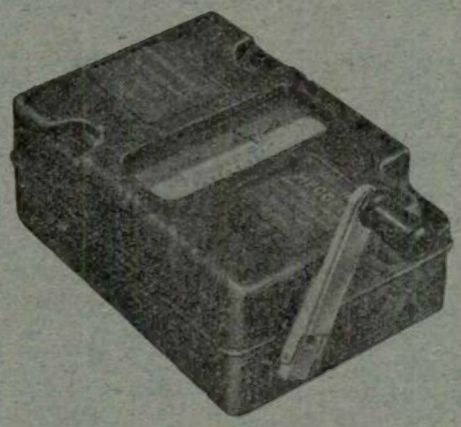
TEL. 21381 — 21382 — 30655

EVERSHED & VIGNOLES, LTD.

APARELHOS ELÉCTRICOS DE ALTA CATEGORIA

"MEGGER"

PARA MEDIDA
ENSAIO
TRANSMISSÃO
CONTROLE



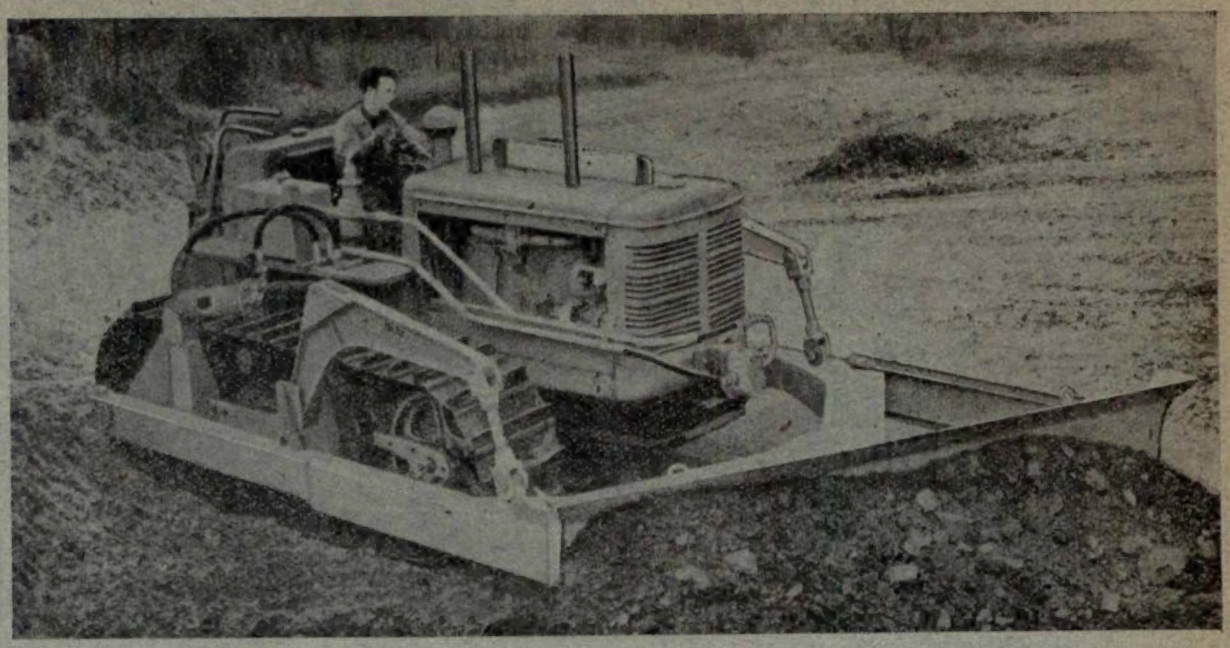
ENTREGAS RÁPIDAS OU IMEDIATAS

Pedir catálogos e ofertas aos Representantes e depositários:

PIMENTEL & CASQUILHO, L.DA

Rua Eugénio dos Santos, 75 — LISBOA — Tel. 24314

W. E. BRAY & CO. LTD.



BRAYDOZERS (OPERADOS POR CABOS OU HIDRÁULICOS)

UTILIZÁVEIS NOS SEGUINTES TRACTORES:

ANGLEDOZERS HIDRÁULICOS DE SERVIÇO PESADO

A.D.N. 61, A.D.N. 70, A.D.N. 130
ALLIS-CHALMERS H.D. 20, H.D. 19, H.D. 15, H.D. 14, H.D. 10, H.D. 9, H.D. 7, H.D. 5
CATERPILLAR D. 8, D. 7 D. 6, D. 5, D. 4, D. 2
CLETRAC H.G., A.D, B.D., B.D.H., D.D., D.D.H., F.D., F.D.E.
COUNTY COMMERCIAL
FIAT 50, 52, 55
FOWLER CHALLENGER MARK III, MARK VF
INTERNATIONAL T.D. 24, T.D. 18, T.D. 14, T.D. 9, T.D. 6
LOYD DRAGON
ROADLESS TRACTION MODEL «E»

ANGLEDOZERS OPERADOS POR CABOS

A.D.N. 61, A.D.N. 70, A.D.N. 130
ALLIS-CHALMERS H.D. 20, H.D. 19, H.D. 15, H.D. 14, H.D. 10, H.D. 9, H.D. 7
CATERPILAR D. 8, D. 7, D. 6, D. 4
CLETRAC B.D., B.D.H., D.D., D.D.H., F.D., F.D.E.
FOWLER CHALLENGER MARK III
INTERNATIONAL T.D. 24, T.D. 18, T.D. 14, T.D. 9

ANGLEDOZERS LIGEIROS

FORDSON MAJOR
FERGUSON
DAVID BROWN

PEÇA PORMENORES E PREÇOS AOS DISTRIBUIDORES EXCLUSIVOS

BLACKWOOD HODGE

PRAÇA DA ALEGRIA, 58 — TELEFONES 32064, 32065 — LISBOA

Portugal, Inglaterra, E. U. A., Espanha, Irlanda, Bélgica, Itália, África do Sul, África Oriental, África Ocidental, as duas Rodésias e Nyassaland, Congo Belga, Angola, Moçambique, Sudão, Índia, Paquistão, Ceilão, Birmânia, Austrália

LKB-PRODUKTER

FABRIKSAKTIEBOLAG

ESTOCOLMO

Têm o prazer de comunicar que acabam de nomear seus agentes exclusivos em Portugal e Províncias Ultramarinas, a firma

CROCKER, DELAFORCE & C.ª, LDA.

RUA D. JOÃO V, N.º 2 — LISBOA

através de quem terão o prazer de cotar para o mercado português todos os equipamentos que fazem parte do seu actual programa de fabrico:

- **Instrumentos para o estudo de compostos de alto peso molecular;**
- **Instrumentos para física nuclear;**
- **Instrumentos para Raios X e Cristalografia;**
- **Equipamentos para alto vácuo;**
- **Aparelhos para Laboratórios industriais e de investigação.**

L. M. ERICSSON

STOCKHOLM SUÉCIA

- INSTALAÇÕES TELEFÓNICAS DE TODOS OS SISTEMAS
- SISTEMAS TELEFÓNICOS POR ALTA FREQUÊNCIA
- SISTEMAS DE SINALIZAÇÃO
- INSTALAÇÕES DE VIGILANCIA E DE CONTROLE A DISTANCIA
- SISTEMAS DE RADIOCOMUNICAÇÕES E SONORIZAÇÃO, RECEPTORES
- INSTRUMENTOS DE MEDIDA E CONTADORES ELÉCTRICOS
- PRENSAS HIDRÁULICAS E MÁQUINAS PARA ENSAIO DE MATERIAIS
- CONDENSADORES PARA CORRIGIR O FACTOR DE POTÊNCIA
- MOTORES ELÉCTRICOS
- DIVERSA APARELHAGEM TELEFÓNICA E ELÉCTRICA
- FIOS E CABOS TELEFÓNICOS E ELÉCTRICOS

Agentes Gerais em Portugal:

SOCIEDADE HERRMANN L.DA

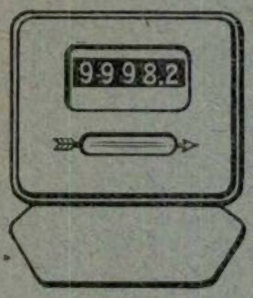
Calçada do Lavra, 6 — LISBOA

Telefones { **2 3168** / **2 3169** } **Telegramas: LAVRA**

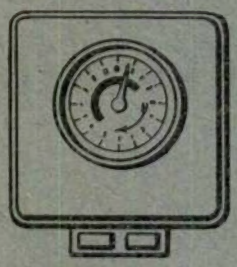
Oficina de construção e reparação de material telefónico e eléctrico

LANDIS & GYR

A PRECISÃO SUISSA AO SERVIÇO DA
ELECTRICIDADE



CONTADORES PARA CORRENTE CONTÍNUA E ALTERNADA



RELOGIOS DE TARIFICAÇÃO
INTERRUPTORES HORARIOS

EQUIPAMENTOS ESPECIAIS DE MEDIDA E CONTAGEM

REPRESENTANTES:

JAYME DA COSTA. L.DA

R. DOS CORREEIROS, 8-26 LISBOA-PORTO, P. DA BATALHA, 12-12 A

AZEVEDO & PESSI, L.DA

RUA NOVA DO ALMADA, 46

LISBOA — PORTUGAL

TELEGRAMAS: PESSIL-LISBOA — TELEFONES: 29879-24495-20354

MÁQUINAS, EQUIPAMENTO, INSTALAÇÕES

Representantes de:

EMILE HAEFELY & C.ie S. A. — Basileia — Suíça
Transformadores de potência e medida, Condensadores estáticos, Rebobinagem de máquinas eléctricas, Material isolante

SPRECHER & SCHUH, S A. — Aarau — Suíça
Aparelhagem eléctrica, Disjuntores-Ortojectores

MEIDINGER, S. A. — Basileia — Suíça
Motores e ventiladores eléctricos

BAUME & MARPENT, S. A. — Haine St. Pierre — Bélgica
Material de caminhos de ferro, Pontes, Gasómetros

HEINRICH FLOTTMANN G. m. b. H. — Herne — Alemanha
Equipamento perfurador, Demolidores, Compressores, Martelos

BERKEFELD FILTER GESELLSCHAFT, m. b. H. — Celle — Alemanha
Filtros para água, vinho, óleos. Instalações de depuração e amaciamento de água, desferrização

ESCH-WERKE K. G. — Duisburgo — Alemanha
Britadoras, trituradoras, instalações de tratar pedras

W. HARTMANN & Co — Hamburg — Alemanha
Escavadoras, transportadores de fita, Serapers, Vagonetas, Carris, Aços

THEODOR TILEMANN K. G. — Gevelsberg — Alemanha
Cabos de aço, cadeias, correntes

COMPANHIA PORTUGUESA DO COBRE, S. A. R. L. — Contomil — Porto
Cobre, latão, alumínio e respectivas ligas

FUNDIÇÃO E CONSTRUÇÃO MECÂNICAS

S. A. R. L.

OEIRAS

Uma grande organização na «**Indústria Metalúrgica e Metalomecânica nacional**»

Com **Fábrica** onde se produz:

Fundição de ferro, Ferros Ligas e Metais, Esmaltes — Esmaltagem

OFICINAS DE SERRALHARIA E FORJAS

Alguns artigos de série:

Banheiras de ferro fundido esmaltado — Todos os artigos sanitários para casa de banho e cozinha — Caldeiras e radiadores para aquecimento central — Salamandras — Fogões e fogareiros a gás — Fogões a lenha e carvão — Escadas e escadotes — Tábuas de engomar — Material para construção civil (aros para claraboias, sifões de pátio, ventiladores, portinholas, olhos de boi, autoclismos, etc.) — Bancos de jardim — Candeeiros para iluminação pública, etc

PROJECTOS, ORÇAMENTOS E EXECUÇÃO DE INSTALAÇÕES E AQUECIMENTO CENTRAL

Vendas directas ao comércio da especialidade

Telef. Oeiras { P. P. C. 324 — 4 linhas / Administ. 156

Teleg. Fundição — OEIRAS

Correio: Apartado 711
LISBOA — CENTRAL

SECÇÃO DE AQUECIMENTO

Av. António Augusto de Aguiar, 7-A

Telefone 4 1110

Dott. Ing. Mário, Giuseppe

BRAIBANTI

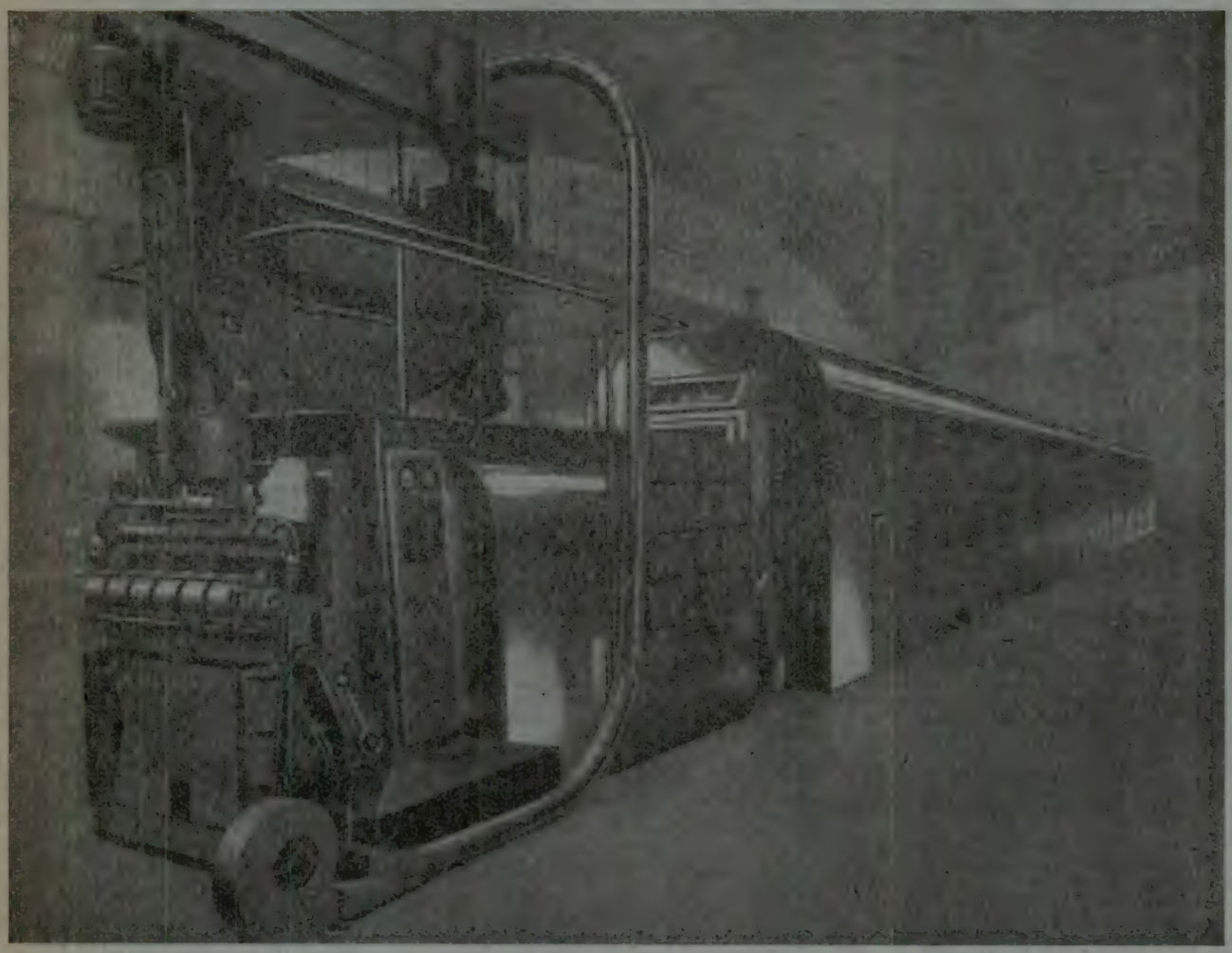
& C. Soc. R. L.

MILANO — Via Borgogna, I (ang. Piazza S. Babila) Tel. 79.23.93 — 79.23.94

Máquinas para fábricas de massas (alimentícias)

Instalações completas automáticas — Secadoras

ÚLTIMA CRIAÇÃO «BRAIBANTI»



Instalação automática para estender a massa e enrolamento, e secagem da massa comprida

PERFEITO EQUILÍBRIO

— outra razão para escolher a marca

GARDNER-DENVER

Os perfuradores de paragem automática Gardner-Denver são notáveis pelo seu perfeito equilíbrio. A distribuição cuidadosa do seu peso torna o seu manejo mais fácil e de maior segurança. A perfeita coordenação entre a acção de martelar e a pressão fornecida assegura uma perfuração mais rápida.

Eis uma das muitas razões por que V. terá toda a vantagem em incluir nos seus planos futuros as bombas, os compressores, os perfuradores de rocha e outros equipamentos pneumáticos da marca Gardner-Denver.

Peça-nos informações pormenorizadas, ou consulte os nossos representantes É possível que eles possam fornecer o equipamento Gardner-Denver, que V. precisa, mais depressa do que julga.

Os perfuradores de paragem automática Gardner-Denver são apresentados em dois tamanhos — o RB 104, para perfurações difíceis, e o RB 94 de 100 lbs.-peso.

REPRESENTANTE EXCLUSIVO PARA PORTUGAL:

CASTOR LAORDEN BESGA

Rua D. Filipa de Vilhena, 6-D, 6-E

LISBOA

DESDE 1859

GARDNER-DENVER

Gardner-Denver Company, Export Division: 233 Broadway, New York 7, N. Y., U. S. A.
Gardner-Denver Company, Quincy, Illinois, U. S. A.

COMPRESSORES, BOMBAS E PERFURADORES DE ROCHA DE PRIMEIRA QUALIDADE

Barber-Greene

CARREGADORES MÓVEIS, DE TELA OU DE BALDES
TELAS TRANSPORTADORAS FIXAS

CARREGADOR PARA AREIA, BRITA, PRODUTOS QUÍMICOS, CARVÃO, EMBALAGENS, ETC.

CARREGADOR ESPECIAL PARA CARVÃO, COM CRIVO VIBRATÓRIO E LANÇA BASCULANTE

CARREGADOR DE BALDES COM AUTO-ALIMENTADOR

HÁ UMA SOLUÇÃO BARBER-GREENE PARA CADA PROBLEMA DE CARGA OU DE TRANSPORTE DE MATERIAIS A GRANEL

CONSULTE O REPRESENTANTE EXCLUSIVO PARA PORTUGAL

SMEIA

SOCIEDADE DE MECANIZAÇÃO INDUSTRIAL E AGRÍCOLA

S. A. R. L.

AV. A, À PRAÇA DO AREEIRO, N.º 8 — LISBOA — TELEF. 7 0028

Para impermeabilizar terraços, paredes, fundações, etc.

EMPREZA DE PRODUCTOS ASFÁLTICOS
IMPERMEABILISADOR
IMEPA
RUA FILIPE FOLQUE, 10-1.º-LISBOA

CONTRA A HUMIDADE

FABRICA EM SACAVÉM

TELEFONES 4 2651 / 4 2156 TELEG. EPALDA—LISBOA

Sociedade Portuguesa Cavan

R. D. ESTEFÂNIA, 42 ~ TELEF. 47812 · 50129 ~ LISBOA E PORTO

LEACOCK (LISBOA), L.DA

AV. 24 DE JULHO, 16 — LISBOA

R. JOSÉ FALCÃO, 185 — PORTO

SECÇÃO DE MÁQUINAS E ELECTRICIDADE

REPRESENTANTES DE:

THE RAWLPLUG COMPANY, LTD.
Material de fixação para construção civil e mecânica.

HOOVER, LTD.
Motores eléctricos desde 1/8 até 3/4 H. P., Monofásicos e Trifásicos.

VERITYS, LTD.
Motores eléctricos desde 1 até 125 H. P.

J. A. CRABTREE & CO. LTD.
Material para instalações de luz: interruptores, fichas, tomadas, etc.
Material para instalações de força: arrancadores, disjuntores, caixas, etc.

TRANSFORMERS & WELDERS, LTD.
Transformadores de todos os tipos até à potência de 3000 K. V. A. e até à tensão de 33000 Volts.

BARTON CONDUITS, LTD.
Tubo de aço para instalações eléctricas.

EDWARD MAC BEAN & CO. LTD.
Tubo, fita e pano de tela envernizada.

MEASURING INSTRUMENTS (PULLIN), LTD.
Amperímetros, Voltímetros, Frequencímetros, Wattímetros de todos os tipos e escalas.

F. PERKINS, LTD.
Motores Diesel marítimos.

THE AUTOMATIC COIL WINDER AND ELECTRICAL EQUIPMENT CO, LTD.
Osciladores, capacímetros, texts universais, texts electrónicos, analisadores de válvulas, luxímetros, expositores para fotografias.
Máquinas para bobinar e enfitar.

GEORGE KENT
Contadores de água, de vapor e de óleo.
Tubos Venturi
Determinadores e controladores do pH, do CO_2 e pirómetros pelo processo potenciométrico.
Combustiómetros, manómetros, registadores de distâncias, medidores-registadores de caudais, medidores de orifícios em condutas para gases.

THORN ELECTRICAL INDUSTRIES, LTD.
Luz fluorescente e rádios.

ELECTRIC PANELS, LTD.
Aquecimento eléctrico.

A zona crítica!

A zona dos segmentos, aqui representada, é certamente uma das mais críticas para o óleo lubrificante

Quando a combustão abrasa as cabeças dos cilindros e os gases dela resultantes procuram abrir caminho pelas folgas dos segmentos, é a película de óleo lubrificante que assegura a defesa dessa passagem vital, sob pressões e temperaturas tremendas, que tendem a destruí-la.

A vedação eficaz dos segmentos é condição essencial do bom rendimento do motor, porque as fugas de gases representam potência desperdiçada

Desde o primeiro Diesel construído no mundo — que a Vacuum lubrificou — até aos modernos motores, tem os óleos Gargoyle para estes motores evoluído constantemente, de harmonia com as condições de funcionamento cada vez mais severas.

Hoje os óleos Gargoyle DTE (série numerada), dotados de alta resistência à oxidação e de combustão limpa permitem reduzir ao mínimo os depósitos carbonosos, obter a perfeita vedação dos segmentos e a máxima protecção do motor contra o desgaste.

GARGOYLE

Lubrificantes

SOCONY-VACUUM OIL COMPANY, INC.

2373

TÉCNICA

MANUEL AGUDO MARQUES MAIA
DIRECTOR

INSTITUTO SUPERIOR TÉCNICO
851
BIBLIOTECA

ANO XXVI-N.° 216 NOVEMBRO 1951

Conjugação de aproveitamentos na bacia do Tejo

O PROBLEMA DO ALVITO

PELO PROFESSOR ENG.° ALBERTO ABECASIS MANZANARES

C. D. 621.28 (469) Tejo

Esta conferência, proferida na Ordem dos Engenheiros, não foi publicada no respectivo Boletim por falta de espaço. A sua inserção na revista «Técnica», obedece ao desejo de não protelar por mais tempo a sua publicação.

SENHOR PRESIDENTE
COLEGAS E AMIGOS

Devo começar a minha palestra por dois agradecimentos: Ao ilustre Conselho Directivo da Ordem e ao engenheiro Carvalho Xerez.

Ao Conselho Directivo por ter autorizado esta conferência.

Ao engenheiro Xerez por a ter originado.

Efectivamente, nunca teria o atrevimento de trazer para público este assunto antes dele ser devidamente apreciado pelo Conselho Superior de Obras Públicas, cuja opinião, quando devidamente fundamentada e emitida com completo conhecimento de causa, muito respeito, e cuja actuação todos os engenheiros têm o dever de prestigiar, evitando-lhe situações difíceis ou delicadas.

Porém, a verificação do facto, claramente exposto na conferência do engenheiro Xerez, do meu estudo sobre o Alvito ter sido apreciado por uma empresa particular interessada, antes do Conselho dele ter tomado conhecimento, me iliba de qualquer restrição que a minha deontologia profissional me impuzesse, permitindo-me fazer pùblicamente o esclarecimento do assunto, como eu muito desejava, em face das opiniões e comentários que circulavam no meio técnico.

Cumpre-me ainda pedir aos colegas presentes o favor de tomar nota de qualquer dúvida ou observação que a conferência lhes possa sugerir, de forma a tudo poder ser esclarecido. Terei muito prazer nisso, por saber que estes problemas necessitam de boa compreensão e também por estar convicto que quem procede de boa fé, só tirará vantagens de uma troca de impressões de modo a dissipar, em ampla discussão, as dúvidas que possam porventura levantar-se, corrigindo pontos de vista que se julgavam certos e que depois se pode verificar foram ultrapassados.

Para mais facilidade de consulta e esclarecimento deixarei na biblioteca da Ordem um exemplar completo do estudo realizado, ficando, de futuro, à disposição dos colegas

que me quiserem procurar. É essa a minha missão, como engenheiro e ainda mais como Professor e como tal a devo cumprir.

Podemos, depois destas observações prévias, entrar pròpriamente no assunto da conferência.

Na última 5.ª feira, durante alguns passos da interessante exposição do engenheiro Carvalho Xerez, a nossa atenção foi arrastada, quer por alusões directas, quer por associação de ideias, para a consideração de outro problema, ìntimamente ligado com o que serviu de tema àquela conferência, e de que ùltimamente muito se tem falado, algumas vezes sem suficiente conhecimento de causa, nos meios técnicos.

Trata-se de um dos meus últimos estudos, referente ao aproveitamento conjugado dos rios Ocreza e Tejo, com base na albufeira de Alvito, apresentado como ante-projecto, a que, em apêndice, se adicionou o estudo duma eventual derivação parcial do Zêzere, em Bogas, para o Ocreza, como tentativa de encarar o problema do aproveitamento integral das possibilidades energéticas de àquelas três bacias.

Julgo fundamental, perante aquelas alusões e por o problema ter sido abordado sob um dado ponto de vista, esclarecer tal questão, de interesse nacional, de forma a que, de futuro, as opiniões que todos nós temos o direito de exprimir, sejam dadas com pleno conhecimento.

Há cerca de dois anos que o nosso já falecido colega Xavier Centeio, engenheiro ilustre, a quem presto as minhas homenagens, foi encarregado pela respectiva empresa, de estudar o aproveitamento do rio Ocreza, em Alvito, local então visitado pelos Professores Gignoux e Stucky. Durante o tempo desde então decorrido, o engenheiro Xavier Centeio acumulou certo número de elementos e esboçou algumas ideias que me foram transmitidas quando recebi o honroso encargo de estudar o assunto, elementos e ideias que serviram de base para a continuação do estudo.

Logo no início se apresentaram duas circunstâncias que despertaram a minha atenção para o extraordinário interesse nacional que o aproveitamento podia ter.

Em primeiro lugar verificava-se a possibilidade de, com uma barragem de 125 m de altura, isto é, da mesma altura do Cabril, assente nas quartzites, criar uma albufeira de 1.700×10^6 m^3 de capacidade, sendo possível, ainda, aumentar sensìvelmente tal capacidade com a sobreelevação de alguns metros, apenas.

Qualquer leigo no assunto podia imediatamente ver a importância que tal possibilidade tinha, especialmente no nosso clima de tão irregulares condições hidrológicas.

Mas o facto era acentuado pelo valor da queda total aproveitável, no aproveitamento de Alvito e nos do Tejo, até à base de Almourol, funcionando estes últimos a fio de água, isto é, sem perda de queda correspondente aos esvasiamentos das albufeiras. A cota de máxima retenção de Alvito seria 250, enquanto que a cota base de Almourol anda por 14. Poder-se-ia dispor, portanto, de reserva energética notabilíssima.

A grande capacidade da albufeira permitiria que este aproveitamento trabalhasse como reserva estival e ainda permitiria a regularização inter-anual, factores estes importantíssimos no nosso país, onde temos de contar, mais tarde ou mais cedo, com o aproveitamento, a fio de água, dos caudais do Tejo e do Douro, de produção de energia prevalentemente temporária, que interessa compensar, o que Alvito permite e consegue.

Não se reduzia, porém, só a isto a importância do Alvito; outra característica possuía que, conjugada com a grande capacidade da albufeira, lhe dará características únicas no nosso país e raras mesmo no estrangeiro. Efectuando a restituição das águas no Tejo, em Vila Velha de Ródão, no regolfo da barragem de Fratel, por um túnel de cerca de 8 km, com central subterrânea, conseguir-se-ia pelo simples acoplamento de bombas aos grupos turbo-geradores, cujos alternadores poderiam funcionar como motores, acumular, por bombagem, na albufeira de Alvito, caudais escoados no Tejo, sempre que

houvesse disponibilidades energéticas sobrantes na rede eléctrica nacional; por outras palavras, poderiamos transformar energia temporária eventual, de valor nulo, em energia estival, com possibilidade de transferência inter-anual.

Surgiu assim o ante-projecto do aproveitamento das águas do rio Ocreza, no Alvito, ante-projecto em que o estudo hidrológico e de produtividade energética foi levado o mais longe possível, na base dos elementos existentes, de maneira a poder definir com suficiente precisão, superior à obtida nos estudos congéneres efectuados para outros aproveitamentos hidro-eléctricos do nosso país, as possibilidades energéticas das soluções encaradas. O estudo técnico-construtivo foi, também, levado até onde necessário para dar ideia muito aproximada do custo das obras e da sua influência na respectiva apreciação económica.

O esquema figura a vermelho na planta geral do aproveitamento, figurando a cheio a parte já executada e a tracejada as obras projectadas.

Consta essencialmente de uma barragem tipo cúpula, com 125 m de altura, no local de Alvito, no Ocreza, que cria uma albufeira de 1.700×10^6 m³ de capacidade.

Uma derivação, com central subterrânea, para o Tejo, no regolfo da barragem de Fratel, permite quer a produção de energia estival, nas épocas de deficiência nas centrais do Tejo, quer a elevação de água deste rio, por bombagem, aproveitando, nos períodos de grandes caudais, a energia temporária sobrante da rede eléctrica nacional. Esta bombagem terá importância decisiva, mais tarde, quando se iniciarem as obras de aproveitamento dos caudais do rio Douro.

As águas provenientes da albufeira do Alvito serão sucessivamente aproveitadas nas centrais de Fratel-Belver-Almourol, que não sofrem por tal facto qualquer modificação ou encarecimento.

Foi previsto ainda o aproveitamento e domínio das águas duma bacia de 400 km², nas ribeiras de Alpreada e Taveiró, afluentes do Ponsul, provenientes da serra da Guardunha, por derivação das mesmas para a albufeira de Alvito.

Este esquema, sem Almourol, apresenta os seguintes valores de energia produtível, considerando só a energia permanente, para facilitar a comparação:

Esquema total, no período 1932-50

Produção média	$563{,}8 \times 10^6$ Kwh	
Produção mínima	$479{,}0 \times 10^6$ »	1944-45
Preço do Kwh	0$18,4	

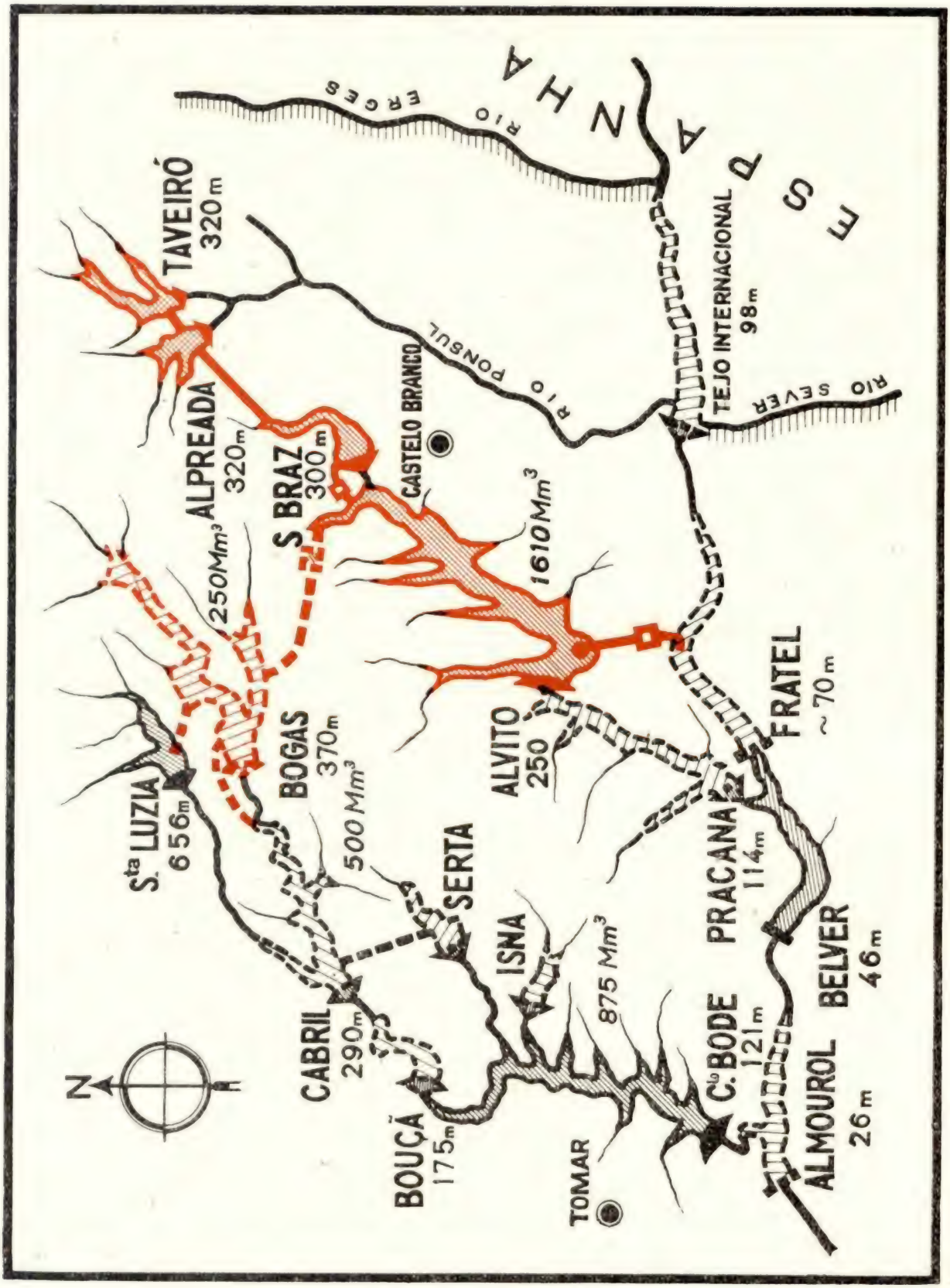
Parte nova do esquema

Produção média	$514{,}8 \times 10^6$ Kwh
Preço do Kwh	0$15,5

Ainda em relação ao estudo apresentado convém, desde já, fazer algumas observações, válidas para os problemas referentes à derivação do Zêzere.

1.º — O estudo hidrológico-energético foi feito para o período 1932-50, de pluviosidade média, e para o qual existem elementos hidrológicos de confiança para as linhas de água consideradas, o que não acontece para períodos mais extensos.

2.º — Em relação aos preços obtidos, que crítica fácil pode ser tentada a acusar de fantasistas, estou autorizado a afirmar que se houvesse, agora, concurso público para execução das respectivas obras, haveria concorrente dentro da base de estimativa apresentada, o que destroi, por completo, qualquer dúvida sobre este importante assunto.


TAVEIRÓ
320 m
ALPREADA
320m
S BRAZ
300m
250Mm³
CASTELO BRANCO
RIO PONSUL
RIO ERGES
TEJO INTERNACIONAL
98m
RIO SEVER
1610Mm³
BOGAS
370m
500 Mm³
S.ta LUZIA
656m
ALVITO
250
FRATEL
~70m
SERTA
ISNA
875 Mm³
PRACANA
114m
CABRIL
290m
BOUÇÃ
175m
TOMAR
C.lo BODE
121m
BELVER
46m
ALMOUROL
26m
N

3.º — Convém frizar um ponto muito importante referente à forma como foi obtida a energia produtível, quer neste sistema, quer no esquema com derivação.

A energia produtível foi estudada, no ante-projecto, de acordo com dois critérios:

O primeiro, correspondente à forma normal ou usual como tal estudo costuma ser feito, partindo do conhecimento prévio da sucessão dos acontecimentos hidrológicos num certo número de anos. É este o método empregado até aqui, no nosso país, no estudo da produtividade dum dado aproveitamento, mas ele não corresponde nem à lógica nem à realidade, visto pressupor o conhecimento prévio de acontecimentos hidrológicos futuros.

O segundo, que considero o único lógico, parte de uma norma de exploração das albufeiras, estudada de forma a poder fazer face a possível sucessão, desconhecida, de futuros caudais, garantindo um mínimo de produção se, em qualquer altura, se repetir o acontecimento hidrológico de excepcional escassez que se tomou como base, e que, no nosso caso, foi o período de 29 meses decorridos... entre 1 de Junho de 1943 e 31 de Outubro de 1945. É evidente que a este critério corresponde uma certa diminuição na produção de energia permanente média, preço porque se paga a garantia do mínimo de produção, diminuição que no nosso caso é da ordem dos 3 a 5 %, o que vale bem a pena.

Não resisto agora, a dar um exemplo concreto da vantagem de inter-ligação com os aproveitamentos a fio de água, inter-ligação só possível com albufeiras que permitam a inversão estacional de caudais e melhor ainda a compensação inter-anual, e não resisto por me ter parecido ouvir, na última quinta feira, uma afirmação que muito estranhei mas é provável que eu tenha ouvido mal. Pareceu-me ter ouvido que «não valia a pena profundar as possibilidades de compensação dos aproveitamentos a fio de água» e confesso que não percebi.

Quando se tem um aproveitamento a fio de água, nas nossas condições climatéricas, pode-se e vale a pena compensar a sua energia temporária, com energia estival armazenada em albufeira, sempre que isso for econòmicamente possível, e em média, consegue-se, com um Kwh estival, compensar 1,5 Kwh temporários de inverno, de forma a obter 2,5 Kwh permanentes.

Nestas condições, se pudermos aproveitar, em média, anualmente, nos períodos estivais, 1.500×10^6 m^3 da capacidade da albufeira de Alvito, para produzir energia estival, fornecendo cerca de 700×10^6 Kwh poderiamos tornar permanente cerca de 1.000×10^6 Kwh de energia temporária, no nosso caso dos rios Tejo e Douro. Bastam estes números para ver a importância do problema. É necessário, evidentemente, dispor, quer de uma albufeira de capacidade exuberante, com possibilidade de inversão estacional, quer da água necessária.

Até aqui o problema naquilo que se refere ao Alvito pròpriamente dito, e pergunta-se: já que o Alvito, só por si, tem tão vastas possibilidades, qual o interesse em fazer a derivação parcial das águas do Zêzere em Bogas, levantando problemas de concessão e atritos inevitáveis?

Examinemos, no Cabril e em Castelo de Bode, para o período de 18 anos 1932-50, período que nos serviu de base para todo o estudo, os caudais escoados e os aproveitados.

Partimos para tanto das produções médias já oficialmente aceites para tal período, no parecer do Conselho Superior de Obras Públicas sobre o aproveitamento do Cabril, produções que são, sempre para o período 1932-50, de 327×10^6 Kwh para Castelo de Bode e de 202×10^6 Kwh para Cabril, num total de 529×10^6 Kwh. Considerando a Ponte da Bouçã, como interessa, e tendo em conta a relação das quedas, a produção neste último aproveitamento seria de 113×10^6, ou 642×10^6 Kwh no total.

Àquelas produções correspondem os seguintes caudais realmente aproveitados, que podemos comparar com os escoados:

	Q_{totais}	$Q_{aprov.}$	$Q_{perd.}$	$Q_{perd.}$ %
Castelo de Bode	2.316×10^6 m³	1.816×10^6 m³	500×10^6 m³	21,5
Cabril	1.580×10^6 m³	957×10^6 m³	623×10^6 m³	40,0

A energia perdida em caudais escoados para o mar, sem aproveitamento, é, em média, por ano, de cerca de 300×10^6 Kwh, quer dizer, a energia perdida seria metade, aproximadamente, da produzida.

Além disso a energia permanente (?) anual oscila entre o valor máximo admitido de 770×10^6 Kwh e o valor mínimo, em 1944-45, de 179×10^6 Kwh, quer dizer, varia na relação de 1 para 4,3.

Cabe aqui fazer uma referência e uma observação.

O valor aceite pela Hidro-Eléctrica do Zêzere para produção do conjunto Cabril-Castelo de Bode no ano de 1944-45 é de 170×10^6 Kwh, o que daria 209×10^6 Kwh para o conjunto, incluindo a Ponte da Bouçã. Porém tal valor foi obtido transferindo e reservando caudais de 1942-43 para 1944-45, apesar do ano seco de 1943-44, procedimento que se não seguiu em nenhuma outra época e que portanto não é válido para obter a média da energia produtível, que diminuiria nos outros anos hidrológicos se assim se tivesse procedido.

O valor real da produção é o que por nós foi indicado.

Foi perante este quadro pouco optimista e tendo em conta a relativa vizinhança da albufeira de Alvito, com a sua grande capacidade, que se estudou, em esquema, a possibilidade de não deixar passar água para o mar sem produzir energia, o que se conseguia pela derivação parcial do Zêzere, a montante do Cabril, por alturas de Bogas, para a albufeira de Alvito, com um túnel de 17,5 km, aproveitando, na própria derivação, uma queda variável entre 95 e 140 metros.

Foi assim, tendo em conta o interesse nacional e o próprio interesse técnico do assunto, que o problema foi levantado. Melhor fora, talvez, se eu prezasse o meu comodismo e paz de espírito, não lhe ter feito referência, e bem instado fui, e por diversas vezes, para o não fazer. Porém a minha consciência de professor e técnico assim o exigia. Verifico que, pelo menos, já houve uma vantagem: exigir um mais cuidadoso estudo do esquema Zêzere, pela inclusão nele do escalão de Bogas, por mim previsto.

Convém esclarecer uma pergunta que se é naturalmente levado a fazer: Não será possível obter o mesmo objectivo considerando em Bogas uma albufeira, com capacidade a estudar, funcionando só para o esquema Zêzere? É necessário esclarecer que a consideração de uma capacidade útil na albufeira de Bogas superior àquela por mim indicada, 250×10^6 m³, implica problemas delicados relacionados com a inundação de Barroca, Silvares, Ourondo e certas instalações da Panasqueira. Foi isso que me levou a limitar a capacidade útil àquele valor que, de resto, se mostrava suficientemente para o fim em vista. Um aumento, que não poderia ser muito elevado de tal capacidade, não alteraria porém, as conclusões que vamos indicar.

O escalão de Bogas, funcionando para o Zêzere, que se quis considerar como recurso extremo para contraditar a ideia da derivação parcial, influe sem dúvida, bastante, na produtividade daquele sistema. Só é de estranhar que não se tivesse pensado nele mais cedo. A produção média permanente do sistema Zêzere, completo com Bogas, para o período de 18 anos considerado, é de 832×10^6 Kwh, isto é, mais 190×10^6 Kwh que

não considerando o escalão de Bogas. Fazendo porém contas análogas às que fizemos, verificamos o seguinte:

	Q_{total}	$Q_{aprov.}$	$Q_{perd.}$	$Q_{perd.}$ (%)
Bogas	1.190	646	544	46
Cabril	1.580	1.204	376	24
Castelo de Bode . . .	2.316	1.952	364	16

A energia perdida em caudais escoados sem aproveitamento seria, por ano, em média, de cerca de 270×10^6 Kwh, isto é, cerca de 33 % da energia produtível. Além disso, a energia produtível considerada como permanente teria variações muito elevadas de ano para ano, da ordem de 1 para 3 ou 3,5.

Foi isto que nos levou a estudar a derivação, conseguindo simplesmente com esta e com modificação da potência instalada na central de Alvito, o aproveitamento dos caudais desviados do Zêzere numa queda total bruta, até à base de Belver de 362 — — 30 = 332 metros, em virtude do aproveitamento total das quedas pelas disposições previstas na derivação, pelo tipo de exploração previsto para Alvito e pelo aproveitamento nas centrais a fio de água do Tejo.

A queda bruta pelo lado Zêzere seria igual a 65 + 96 + 54 + 80 = 295 metros, correspondente à soma das quedas brutas médias dos diversos escalões daquele rio.

Aqui há também, portanto, uma vantagem de cerca de 10 % na queda.

A energia permanente produtível correspondente *a água do Zêzere,* com derivação ou sem derivação, em média, seria a seguinte:

Com derivação

Na derivação, Alvito-Fratel-Belver . .	700×10^6 Kwh
Na bacia do Zêzere, a jusante de Bogas	430×10^6 »
Total	1.130×10^6 »

Sem derivação

Na bacia do Zêzere, incluindo Bogas	830×10^6 Kwh

Estes números coincidem com os anteriormente apontados. Pode acrescentar-se, também, a grande diferença de custo, visto os 700×10^6 Kwh, na derivação, serem conseguidos com obras muito mais económicas e reduzidas, por aproveitar um sistema que tem viabilidade própria, e apresenta, mesmo isolado, características de grande economia.

Devemos, além disso, ter em conta que, enquanto a energia produzida no esquema Zêzere é distribuída ao longo do ano, a produzida pela derivação pode ser concentrada na época estival, de acordo com as necessidades da rede eléctrica.

No esquema apresentado, que, aliás, se dizia não ser definitivo, previa-se o máximo desvio do Zêzere, em Bogas, causando evidentemente um certo prejuízo a bacia do Zêzere situada a jusante deste local, embora com um benefício global muito apreciável e de grande relevo.

A atitude lógica de quem deveria apreciar o problema era aproveitar as bases indiscutíveis do mesmo e procurar, por um estudo de conjunto convenientemente feito e abrangendo as bacias totais do Zêzere e do Ocreza, em interconexão com as centrais a fio de água do Tejo, obter a máxima produtividade e economia, com solução que satisfizesse todos os interesses em causa, e que, desde já, afirmamos ser possível. Parece, porém, que não foi este o critério seguido, pelo menos até agora.

RIO ZÊZERE

ESQUEMA PREVISTO

PRODUÇÃO MÉDIA 1932-950

(10^6 Kwh)

CASTELO DE BODE	327
CABRIL	202
PONTE DA BOUÇÃ	113

PRODUÇÃO MÍNIMA 1944-945

(10^6 Kwh)

CABRIL — CASTELO DE BODE	144
CABRIL — PONTE DA BOUÇÃ — CASTELO DE BODE	179

BALANÇO HIDROLÓGICO 1932-950

CAUDAIS (10^6 M^3)	TOTAIS	APROV.	PERD.	%
CABRIL — BOUÇÃ	1580	957	623	40
CASTELO DE BODE	2316	1816	500	21,5

ENERGIA PER. EQUIV. — EM MÉDIA — 300×10^6 Kw/ano — 45 %

ESQUEMA INCLUINDO BOGAS

CAUDAIS (10^6 M^3)	TOTAIS	APROV.	PERD.	%
BOGAS	1190	646	544	46
CABRIL — BOUÇÃ	1580	1204	376	24
CASTELO DE BODE	2316	1952	364	16

ENERGIA PER. EQUIV. — EM MÉDIA — 270×10^6 Kw/ano — 30 %

ALVITO-TEJO

		SEM DERIVAÇÃO	COM DERIVAÇÃO
PRODUÇÃO MÉDIA (10^6 Kwh)	1932-950 =	564	1254
PRODUÇÃO MÍNIMA (10^6 Kwh)	1944-945 =	479	835

ENERGIA PRODUTÍVEL PELOS CAUDAIS DO ZÊZERE

(10^6 Kwh)

UTILIZADOS

NO ZÊZERE — ESQUEMA PREV.	640
» » — INCLUINDO BOGAS	830
— C/DERIVAÇÃO	1130

PRODUTIVIDADE MÉDIA TOTAL	(10^6 Kwh)
SISTEMAS INDEPENDENTES	1394
SISTEMAS CONJUGADOS	1684

ACRÉSCIMO DEVIDO A ALMOUROL	~ 150
» » AO TEJO INTERNACIONAL	~ 200
» » À RIBEIRA DA SERTÃ	~ 60

CUSTOS — PARTE NOVA DAS OBRAS

SISTEMA ZÊZERE S/BOGAS	0$22,0
» » C/BOGAS	0$17,0
» ALVITO S/DERIVAÇÃO	0$15,5
» » C/DERIVAÇÃO	0$12,1

Julgou-se ver no estudo apresentado um ataque directo ao esquema Zêzere e em especial ao aproveitamento do Cabril; nada mais longe da minha intenção, visto ser evidente que o Cabril e a Ponte da Bouçã devem ocupar um lugar importante no sistema conjugado. Pretendeu-se ùnicamente melhorar a produtividade energética pelo estudo do conjunto e se é verdade que tal estudo e a previsão do funcionamento inter-ligado pode levar a introduzir modificações mais ou menos importantes nas disposições previstas para aqueles escalões, também não é menos certo que a economia obtida para o país se cifra em muitas centenas de milhares de contos.

Efectivamente, a obtenção do volume indicado para energia produtível pelas águas derivadas do Zêzere — 700×10^6 Kwh — tomando como base de custo a obtida em Castelo de Bode, e que se espera manter no Cabril, obrigaria ao dispêndio de cerca de 1.500.000 contos, sem ter em conta a necessária compensação térmica, enquanto que a obtenção de tal energia segundo a derivação, custaria, aproximadamente, 600.000 contos, com uma economia, portanto, de cerca de 900.000 contos.

Excluiu-se da comparação a maior economia do sistema Alvito-Tejo em relação ao sistema Zêzere, visto ambos serem viáveis independentemente.

E, ainda, talvez possa haver, em estudo de conjunto, solução mais favorável.

Não se veja nas minhas palavras qualquer espírito de crítica aos estudos correspondentes ao esquema Zêzere. Na data em que este esquema foi planeado ele correspondia à melhor solução possível para as ideias então assentes. Só é, talvez, de estranhar, não se ter, nessa altura, considerado o escalão de Bogas e as possibilidades fornecidas pelas ribeiras da Sertã e Isna.

Porém a técnica evoluiu e as ideias sobre estudos de conjunto, nestes últimos 10 anos, sofreram grande transformação. Já vai longe o tempo em que o «Engineering News Record», podia como manifestação de um estado de espírito contra a «Tenessee Valley Autority», publicar o célebre e conhecido artigo «O Faraó e a sua junta de estudos». Hoje em dia é universalmente aceite a necessidade de planos de conjunto encarando todas as possibilidades hidráulicas e económicas de uma dada bacia hidrográfica ou, melhor, de um país. Exemplo flagrante e ensinamento a atender são as conclusões sobre o aproveitamento integral das bacias hidrográficas, que constituem as bases da política hidráulica adoptada pelos Estados Unidos, como consequência do relatório da «Comisaão Presidencial para o estudo da Política Hidráulica», datado de Dezembro de 1950, conclusões que não permitem de futuro nenhuma obra, mesmo particular, não integrada num plano geral.

O esquema Zêzere foi adaptado à evolução da técnica e primorosamente adaptado, pode-se dizer, com justiça, naquilo que se refere ao aspecto construtivo e executivo, de que nos dá exemplo o projecto, elaborado de acordo com as mais recentes concepções, da barragem do Cabril. Este progresso não foi acompanhado, porém, por uma adaptação paralela nos critérios hidrológico-energéticos, e na observação dos problemas de conjunto, o que é, evidentemente, necessário fazer.

Uma vez posto e explicado o problema, convém fazer referência a algumas apreciações que, parece, foram feitas, por escrito, em relação ao ante-projecto e esquema por mim apresentado, ante projecto e esquema que, como já disse, estão à disposição dos colegas que o queiram consultar, e a quem eu terei muito prazer em dar todas as explicações necessárias.

Digo parece porque não me foi dado conhecimento de qualquer das apreciações feitas, nem se tentou esclarecer comigo qualquer dúvida que houvesse. Não sei mesmo quem terá emitido as opiniões que até mim chegaram e algumas delas acho-as tão absurdas que admito não correspondam à realidade, mas que tenham sido deturpadas até chegarem ao meu conhecimento.

Tenho que lhes fazer referência e devo aproveitar esta ocasião, visto que não me atingem só a mim pessoalmente, mas também atingem o prestígio que me cabe manter como Professor Catedrático.

Não me deterei em pormenores e observações erradas, que chegaram aos meus ouvidos; frisarei só os pontos essenciais.

As observações que, parece, foram feitas, referem-se à energia produtível e ao ante-projecto da barragem de Alvito.

Comecemos pela energia produtível. Podemos condensar nos seguintes pontos a crítica feita.

1.º — Fraca utilização, na maior parte dos anos, do volume armazenado na albufeira de Alvito e consequentemente, fraca utilidade das albufeiras de regularização inter-anual.

Este argumento é, por assim dizer, contraditório. Está aceite, unânimemente, a necessidade de, no nosso clima, com grande irregularidade de caudais, criar albufeiras capazes de fornecer a melhor regularização possível, dentro da economia, de forma a evitar grandes déficits de produção dos períodos secos. Quando se apresenta uma albufeira que consegue plenamente este objectivo, o esquema é atacado por aquilo mesmo que o caracteriza como extraordinàriamente vantajoso! É evidente que quanto mais chuvoso for o ano, menor será a capacidade utilizada para garantir uma dada permanência de energia, utilização que irá aumentando com a secura do ano considerado. Se porém adoptarmos um regime de exploração que não nos garanta mínimo, como é o caso do Zêzere, a capacidade da albufeira já será melhor utilizada, embora à custa duma maior variação de produção de ano para ano e de grandes quebras em anos secos.

Vejamos, por absurdo, o que aconteceria se, uma vez atingido o consumo de cerca de 2.000×10^6 Kwh, que é o que, aproximadamente, por defeito, se pode garantir com o sistema Tejo, Zêzere, Ocreza, a produção num dado ano baixasse na proporção admitida no esquema Zêzere, isto é, na proporção de 1 para 4 (caso de 1944-45). A produção hidro-eléctrica nesse ano seria de 500×10^6 Kwh sòmente, e todos nós vemos, sem necessidade de mais contas, o que tal facto representaria como necessidade de potência térmica instalada para compensação, e como despesa correspondente de produção.

De acordo com o diagrama de cargas da rede eléctrica nacional seria necessária, para fazer face a tal déficit, uma potência térmica instalada de, pelo menos, 56 % da potência de ponta correspondente àquele volume de energia, o que equivale a cerca de 210.000 KW instalados, com plena eficiência, para compensação térmica.

No esquema apresentado para Alvito, com derivação, e no ano seco 1944-45, a potência térmica de compensação, para uma produção da ordem dos 1.500×10^6 Kwh é de 80.000 KW, graças ao regime adoptado de compensação inter-anual.

De resto, parece que o problema já foi compreendido, pois em relação ao Zêzere afirmou-se posteriormente, julgo que pelo mesmo autor da crítica. «Quanto à quebra de produção nos anos secos, pode o assunto remediar-se, em parte, mediante uma certa regularização inter-anual, tornando-se interessante estudar a constituição de uma reserva energética, a utilizar nos anos secos. Esta reserva convém situá-la a uma cota tão elevada quanto possível», e propõe-se, ainda, para o Zêzere, o estudo da «produção de energia com regularização inter-anual a longo prazo, considerando a constituição de reservas a serem utilizadas por completo apenas nos biénios secos».

Foi exactamente este o critério por nós seguido, que, parece, fez escola.

2.º — Apontou-se ser pequena, ou, mesmo, não existir vantagem na derivação, em relação a energia produtível em média e em ano seco.

A esta observação já se respondeu, plenamente, ao esclarecer as circunstâncias que nos levaram a estudar a derivação do Zêzere. Porém, como parece que foram citados números, convém examinar como eles foram obtidos.

Na comparação crítica feita, ao encarar o sistema com derivação do Zêzere para Alvito, considerou-se na bacia a jusante de Bogas, no Zêzere, exclusivamente o aproveitamento de Castelo de Bode. Esqueceu-se, por completo, que os escalões de Cabril e Ponte da Bouçã se manteriam, e no ante-projecto tinha sido calculada a energia produtível nestas condições, que era de 210×10^6 Kwh. A sua não consideração só se pode atribuir a falta de leitura do ante-projecto. O esquecimento também se estendeu à comparação das energias produtíveis em ano seco.

Na comparação, também não se contou para a derivação, com a energia produtível pelos caudais provenientes de Santa Luzia, com o pretexto de que eles não tinham sido contados para o Zêzere, por esquecimento, certamente, de que tais caudais tinham sido considerados naquele rio, visto que já hoje em dia por lá passam. São mais 40×10^6 Kwh.

Fez-se, além disso, a comparação entre o regime de exploração com mínimo garantido de produção, no sistema derivado, e o regime de exploração normal no sistema Zêzere, desprezando, ainda, não se sabe por que bulas, a maior produção de energia no verão relativamente ao inverno, em certos anos, apesar de toda a gente saber que ela é mais valiosa. Isto representa mais 200×10 Kwh.

Somando aquilo que se não contou teremos 450×10^6 Kwh. Como se chegou a um valor de 108×10^6 Kwh a favor do Zêzere, fica verificado o superávit que é da ordem dos 340×10^6 Kwh, em média, por ano.

3.º — Parece ter-se feito a comparação da energia produtível em ambos os sistemas num ano muito pluvioso, o de 1942-43, chegando-se à conclusão de que a produção, nesse ano, no sistema Zêzere, com a inclusão do escalão de Bogas, seria de 1.480×10^6 Kwh, o que somado a Alvito sem derivação, 584×10^6 Kwh, daria um total de 2.064×10^6 Kwh contra $1.726{,}4 \times 10^6$ Kwh correspondente ao sistema Alvito com derivação mais Castelo de Bode.

Convém fazer várias observações prévias a este respeito.

1.º — Nunca se viu comparar dois sistemas de aproveitamentos na base de um único ano, e ainda por cima, escolhido a dedo.

2.º — O ano de 1942-43 é o mais pluvioso do período considerado, excluindo 1935-36.

3.º — No sistema Zêzere ficou-se sem reserva para fazer face a escassez do período subsequente, 1943-45. No sistema Alvito ficou-se com uma abundante reserva energética.

4.º — À energia considerada como produtível no sistema Zêzere, com Bogas, correspondem oscilações mensais entre os seguintes limites:

Máximo em Dezembro a Março	$146{,}1 \times 10^6$ Kwh/mês
Mínimo em Outubro	$91{,}8 \times 10^6$ Kwh/mês

quer dizer, produções mensais de energia variando na proporção de 1 para 1,6 ao longo dos meses do ano. Pergunta-se: Onde está a permanência?

As observações anteriores são, porém, simples pormenores, pois há duas circunstâncias essênciais, que certamente escaparam, que falseiam toda a comparação. São elas:

Esquecimento da produção, nesse ano, dos escalões de Cabril e Ponte de Bouça, mesmo depois de efectuada a derivação. Tal produção teria sido, e figura no ante-projecto

apresentado, de 320×10^6 Kwh. Este valor adicionado ao resultado obtido alterava por completo a conclusão apresentada. Há porém factor ainda mais importante.

Todos os engenheiros habituados a lidar com problemas hidro-eléctricos, e mesmo os leigos em tal assunto, conhecem perfeitamente a distinção existente entre energia permanente e energia temporária, diferenciando mesmo, dentro desta última categoria, a temporária firme da eventual.

São discutíveis, e têm sido diversos, os critérios de fixação de energia permanente. Sem discutir, porém, o problema, fixemo-nos no critério estabelecido pela Hidro-Eléctrica do Zêzere para o estudo económico de Castelo de Bode, critério que, embora na minha opinião amplie o conceito de energia permanente englobando, nele energias que melhor deveriam ser consideradas temporárias firmes, é defensável numa rede inter-ligada, com apoio térmico já instalado.

Avaliando a produção média num certo número de anos, a Hidro-Eléctrica do Zêzere considera como permanente, em cada ano, a energia que não ultrapassa senão em 20 %, aquela média. Assim, para Castelo de Bode e para uma produção média de cerca de 295×10^6 Kwh, considera-se como permanente a energia que não ultrapasse 350×10^6 Kwh, em cada ano. Para o conjunto Cabril-Castelo de Bode, da mesma forma, para uma produção média da ordem dos 530×10^6 Kwh, considera-se como permanente aquela que não ultrapasse 650×10^6 Kwh/ano. Os excessos de energia produtível nos anos chuvosos, consideraram-se, e muito bem, como temporária eventual não vendável.

Apliquemos o critério, à produção do sistema Zêzere, completo, incluindo o escalão de Bogas. A produção média é de 832×10^6 Kwh/ano e a produção máxima que se pode considerar permanente será de, aproximadamente, 1.000×10^6 Kwh/ano. Nestas condições a produção de 1.480,0, considerada para comparação, inclue 480×10^6 Kwh de energia temporária eventual não vendável, o que de resto é lógico, visto que a sua frequência é da ordem dos 10 a 15 %.

Nestas condições, vemos que, mesmo no ano de 1942-43 e apesar das observações feitas, o excesso de produção de energia permanente que se consegue com a derivação é da ordem dos 500×10^6 Kwh.

Poderíamos fazer comparações curiosas, por absurdo, verificando o que se obteria, em certos anos, para a produção dos rios Tejo e Douro com o critério indicado, mas não vale a pena explorar o caso.

Em relação a energia produtível não vale a pena insistir na refutação das outras objecções de menor importância que me chegaram aos ouvidos, desde a necessidade de utililização permanente de um apoio térmico de 80.000 KW, sem justificação, até à exigência, contraditória, de garantir um mínimo de produção de energia para um período de características hidrológicas ainda mais desfavoráveis do que o de 1943-45, isto é, para um triénio seco, provàvelmente para o período das 7 vacas magras do sonho do Faraó.

Passemos àquilo que se refere ao ante-projecto da barragem.

É necessário antes de mais nada esclarecer que o estudo apresentado para a barragem de Alvito é um estudo de ante-projecto, em que se pretendia verificar qual o tipo de barragem que no local se poderia construir, tendo em vista os condicionamentos geológicos e estáticos, e avaliar do seu dimensionamento aproximado, dentro dum critério de segurança, para poder proceder a estimativa do seu custo. *Está isto bem frisado no estudo apresentado, em que se indica, também, qual o procedimento a adoptar para projecto definitivo e se fez a auto-crítica de solução escolhida.*

Cito, para confirmação, algumas frases da memória apresentada.

«*É necessário, porém, não esquecer que não se trata de apresentar um projecto definitivo, mas sim de, tendo em conta as condições topográficas e geológicas locais, averiguar da possibilidade de construir a barragem, com as dimensões pretendidas, escolher o*

tipo mais conveniente, quer como estabilidade, quer como custo, da mesma e estimar este».

Uma vez feito este esclarecimento podemos continuar a nossa exposição.

Parece que em relação às condições geológicas do local da barragem projectada para Alvito, se afirmou o seguinte:

«Na elaboração do correspondente ante-projecto não se vê que tenha sido prestada suficiente atenção às condições geológicas. Na margem esquerda, numa altura de 50 metros, o encontro da barragem estabelece-se sobre a face de montante dum esporão de quartzite, que se caracteriza pela existência flagrante de fracturas com direcção paralela no eixo do rio, e que, por conseguinte, não oferece garantias de resistência ao esforço transverso devido à impulsão dos arcos superiores. Esta circunstância, que é provável que se verifique noutras zonas de fundação, por si só, dá a todo o trabalho restante um carácter precário».

Sem valer a pena discutir algumas afirmações erradas, na substância, contidas no que se acaba de ler, entre as quais o facto da barragem não se apoiar no esporão, bastará transcrever algumas afirmações constantes do relatório geológico, incluído no ante-projecto, e em relação ao qual portanto não se pode alegar ignorância, relatório da autoria do meu ilustre colega e mestre Prof. Ernest Fleury, que, diga-se de passagem, tinha conhecimento da implantação prevista para a barragem.

Diz o Prof. Fleury:

«Nos dias 23 e 24 do mês de Março último, examinei um novo local em vista de uma barragem de 100 a 125 m de altura».

«Para obter uma barragem de mais de 100 metros de altura com um comprimento aceitável, o novo local devia ser escolhido no estreitamento quartzítico do Cabeço da Horta da Serra, quase à saída da garganta.

Este estreitamento é formado por dois grandes esporões transversais...».

E nas conclusões:

«A largura do enrugamento quartzítico permite implantar uma grande barragem encurvada sem atingir os xistos argilosos ou gresosos».

«As quartzites são pràticamente insolúveis e a sua permeabilidade depende da disjunção aberta, fechada ou colmatada. Por veses desagregadas superficialmente, a sua compacidade e resistência aumentam ràpidamente em profundidade. Os enchimentos arenosos das diaclases e das fendas são permeáveis, mas fixam fàcilmente as injecções de impermeabilização ou consolidação».

E para concluir:

«Enfim, o problema da barragem é menos a resistência dos quartzites, que será resolvido pela implantação das fundações, que a impermeabilidade. As grandes obras de Santa Luzia forneceram indicações interessantes, mas em condições melhores que as da garganta da ribeira da Ocreza».

Vê-se o fundamento que têm as afirmações feitas sobre as condições geológicas locais; de resto, e perante aquelas afirmações, o ilustre Prof. Fleury me confirmou plenamente a sua opinião inicial da não existência do problema da resistência das quartzites, em relação à implantação prevista.

Parece que quem fez considerações sòbre o ante-projecto da barragem, não conhecia o projecto, primorosamente elaborado, da barragem do Cabril, muito semelhante, embora mais delgada, à projectada para Alvito, pois me constou ter sido feita a seguinte afirmação, de cuja deturpação eu peço desculpa se por acaso o que vou dizer não corresponde exactamente à afirmação feita.

«Nas barragens do tipo da que foi considerada, *é critério assente* a aceitabilidade da consideração de arcos horizontais independentes, para o cálculo da tensão máxima de

compressão, atribuindo-lhe a totalidade da pressão hidrostática. O projecto definitivo da barragem do Cabril, calculado por este método, conduz à compressão máxima de cerca de 60 Kg/cm²».

E ainda:

«Utilizando os próprios elementos do cálculo apresentado, verifica-se, com a atribuição da totalidade da pressão hidrostática, o arco a cota 180 aparece com a compressão de 96 Kg/cm², etc.».

«Julgo que as observações atrás expostas são suficientes para mostrar a confiança que se pode atribuir ao ante-projecto da barragem» que se conclue «não tem viabilidade construtiva».

Talvez algum dos colegas presentes à conferência do engenheiro Xerez, na quinta-feira passada, tivesse reparado que o conferente fez afirmações que embora parecendo corroborar a opinião anterior, eram fundamentalmente diferentes.

Pareceu-me ter afirmado o engenheiro Xerez que, no primeiro ante-projecto da barragem do Cabril, os arcos horizontais foram dimensionados para a totalidade da carga hidrostática, tendo-se obtido valores de compressão da ordem dos 60 a 70 Kg/cm².

Repare-se na diferença essencial: Enquanto, por escrito se mencionava o projecto definitivo do Cabril, o engenheiro Xerez fazia referência ao primeiro ante-projecto, de dimensões muito mais exuberantes.

Também se afirmou na última quinta-feira que o regulamento italiano de barragens exigia o cálculo de barragens cúpula pela consideração de arcos elásticos independentes sujeitos à totalidade da carga hidrostática.

Embora estranhando, não duvidei, naquela altura, da afirmação feita, quer pela categoria de quem a fazia, quer por saber que o regulamento italiano sobre barragens era de 1931 e que estava para ser ou já foi refundido, como indica Semenza, director técnico da *Sade,* em artigo publicado nos n.os de 23 de Abril e 21 de Maio de 1949 no «Bulletin Technique de la Suisse Romande», em que diz:

«O cálculo analítico é sempre capital e necessário e é sobre ele que se baseiam os projectos. O nosso regulamento sobre barragens é particularmente preciso sobre este ponto. Julgo que possa interessar-vos saber, de passagem, que ele vai ser, ainda, melhorado na base de recomendações duma comissão de peritos escolhidos em todos os meios interessados, desde o Estado até às grandes sociedades de construção, desde os teóricos até aos empreiteiros; esta comissão já trabalha há alguns meses e ela terminará pròximamente o seu labor. Os resultados adquiridos são já muito interessantes».

Constatei, porém, que mesmo aquela afirmação não era verdadeira, visto que consultando o referido regulamento pude ler o seguinte:

«As barragens em abóbada única serão consideradas como formadas por anéis sobrepostos, independentes, sujeitos à pressão hidrostática e às variações térmicas, desprezando os efeitos produzidos pelo peso próprio e considerando nulas as sub-pressões».

E ainda:

«Estes anéis, com excepção dos mais profundos, maciços e de limitada abertura angular, serão calculados como arcos elásticos encastrados».

Já aqui há uma limitação para a consideração dos arcos elásticos.

Mas continuando, lê-se:

«No caso em que as características morfológicas da garganta e a relação entre a altura e o desenvolvimento da barragem o consintam, poderá ainda admitir-se que seja tida em conta no cálculo da barragem, a influência do encastramento na base e da solidariedade dos anéis».

Sem comentários.

Ainda em relação às barragens cúpula diz o referido regulamento:

«Tais tipos podem ser considerados singularmente como estruturas de carácter específico, convenientes em condições particulares, e, portanto a apreciação sobre projectos de tais barragens e sobre a aplicação aos mesmos das normas precedentes será feita para cada caso singular».

Mas voltemos às duas afirmações iniciais: uma tècnicamente errada, outra menos verdadeira.

Efectivamente não é necessário ser especialista no assunto, a consulta de qualquer formulário de engenharia o confirma, para saber que o cálculo das barragens arco e, em especial, da barragem cúpula é actualmente feito tendo em consideração a acção resistente exercida pelas consolas, que assim comparticipam na resistência da obra, assumindo a sua quota parte, definida pela deformação unívoca da barragem, na distribuição da carga hidrostática, ou de outras cargas. É neste critério que se baseia o método do «Trial Load», de que todos têm ouvido falar, método que hoje, juntamente com os ensaios em modelo reduzido, é universalmente aceite para cálculo do projecto definitivo de barragens arqueadas de certa importância.

Para que perder tempo, muitas vezes dois ou três meses, por cada aplicação do «Trial Load» a uma dada barragem, se o problema está resolvido pela consideração de arcos horizontais independentes sujeitos à totalidade das cargas hidrostáticas?

Até aqui a afirmação tècnicamente errada. Vejamos agora a afirmação menos verdadeira, que convém lembrar.

«O projecto definitivo da barragem do Cabril, calculado por este método, conduz à compressão máxima de cerca de 60 Kg/cm^2.

Qualquer dos presentes sabe, certamente, que o projecto da barragem do Cabril, aliás primorosamente elaborado, o foi pela aplicação, não uma, mas duas ou três vezes, do método do «Trial Load», entrando com a distribuição de cargas sobre consolas e arcos, e julgo que o esforço principal máximo, calculado por tal método, era de ordem dos 60 a 70 Kg/cm^2.

A barragem do Cabril, verificada como quereria o autor das afirmações feitas, com critério idêntico ao aplicado por ele ao Alvito [1], daria esforços máximos de compressão, da ordem dos 100 — 110 Kg/cm^2, como de resto não podia deixar de ser, visto que tratando-se duma cúpula, muito semelhante à prevista para Alvito, embora esta tenha um desenvolvimento superior em 8 % ao daquela, e com igual altura, o seu volume no projecto definitivo, é de cerca de 60 % do de Alvito, no ante-projecto, o que nos indica a margem de segurança adoptada, margem que nos permite afirmar a possibilidade duma certa redução de volume no projecto definitivo.

De resto, uma comparação facílima se obtém aplicando, com critério uniforme, o método preconizado pelo autor das observações às barragens de Salamonde, Vall Gallina, Rossens ou Tignes todas de grande altura; para qualquer delas, os esforços, assim calculados, seriam da ordem dos 100 Kg/cm^2.

Concluindo podemos verificar como são infundadas as principais críticas que, repito, parece, foram escritas sobre o ante-projecto do aproveitamento do Ocreza em Alvito e respectivo apêndice, e se verifica, mais uma vez, a necessidade inadiável e iniludível de encarar os aproveitamentos hidro-eléctricos nacionais, e em especial os das bacias do Tejo e afluentes, num plano geral único que observe o problema duma forma absolu-

---

[1] Na verificação sumária da barragem de Alvito, aplicou-se o ábaco incluído por Creager, na última edição do seu «Hydroelectric Handbook», considerando, para simplificação, arcos de espessura constante embora se indicasse que, no projecto definitivo, estes deveriam ter espessura variável. É com o mesmo critério que se pode aplicar o método ao Cabril e não com critério diferente.

tamente integral. Plano cuja elaboração não careceria, ao contrário do que se tem afirmado, de longo espaço de tempo.

Nele deveriam ser considerados não só os aproveitamentos de Alvito-Pracana-Belver-Fratel, do sistema Ocreza-Tejo, e os de Castelo de Bode-Cabril-Ponte da Bouçã do sistema Zêzere, como ainda o aproveitamento de Bogas, comum, possìvelmente, a ambos os sistemas e os de Almourol e Tejo Internacional no Tejo, sem esquecer as possibilidades importantes que nos fornecem a ribeira da Sertã, em aproveitamento com derivação para o Cabril, e a ribeira de Isna.

Este esquema, evidentemente de execução gradual, teria ainda a grande vantagem de facilitar a solução dos problemas de abastecimento de água a Lisboa, e de rega dos campos do Ribatejo, com garantia de caudais em ano seco, na medida em que isso fosse econòmicamente viável e possível, além de fornecer a toda a região uma via navegável de grande interesse.

O país não é suficientemente rico para podêr desprezar as suas possibilidades de fomento integral, dissipando os seus investimentos em realizações incompletamente produtivas. Existe na bacia do rio Ocreza, em Alvito, uma possibilidade natural que a providência nos quis outorgar e que raramente se apresenta. Nas nossas mãos está o aproveitá-la ao máximo. Confio em que, dentro do actual período de ressurgimento da Nação, assim será feito.

Nota final

Cerca de um mês depois de efectuada a conferência que agora se publica, o engenheiro Pedro Arsénio Nunes realizou outra, também na sede da Ordem dos Engenheiros, sobre o mesmo tema.

Pensei, ainda, em responder, por minha vez, contraditando as afirmações erradas ou as teorias menos certas, que nela tinham sido explanadas. Constatei, porém, que tal maneira de proceder não conduziria a qualquer resultado útil, prolongando indefinidamente a controvérsia. Aquilo que se diz, mas não se escreve, ràpidamente esquece e em assuntos especializados, como são aqueles objecto da discussão, as afirmações mais ousadas, ou menos verdadeiras, podem passar por axiomas desde que sejam pronunciadas em tom suficientemente firme e não haja possibilidade de contradita imediata. O caso, oralmente, só poderia ser esclarecido por meio de discussão livre, em uma ou mais sessões de estudo.

Aguardo, portanto, a publicação da conferência do engenheiro Pedro Nunes, para sobre ela me pronunciar detalhadamente. Porém, na perspectiva de ter de aguardar ainda bastante tempo por tal publicação, julgo conveniente frisar, desde já, dois ou três pontos mais importantes.

Convém esclarecer que grande parte das afirmações feitas pelo engenheiro Pedro Nunes já estavam contraditadas, à priori, na conferência que agora se publica, o que pode ser fàcilmente verificado por quem leia este artigo e tenha assistido àquela conferência.

Sob o ponto de vista energético a principal conclusão da minha conferência é a constatação do facto de, no sistema Zêzere, quer no esquema actualmente previsto, quer no esquema incluindo Bogas, se perder entre 33 % a 45 % da água disponível para produção de energia, no período de 1932-50, por insuficiência de capacidade regularizadora; pelo mesmo motivo a energia classificada como permanente oscila, naquele sistema, na proporção aproximada de 4 para 1. Eram estes dois graves inconvenientes para a economia nacional que se remediavam com a derivação das águas do Zêzere, em Bogas, para a bacia do Ocreza, utilizando a excepcional capacidade de armazenamento da albufeira de Alvito.

Estas afirmações ficaram incontestadas; o engenheiro Pedro Nunes nem lhes fez referência; aceitou-as, pelo contrário, implìcitamente, ao defender outros meios de obviar àqueles gravíssimos inconvenientes. E que meios foram estes?

1.º — Dirigismo e racionamento do consumo em anos hidrològicamente escassos!

Considerou-se, isto é, como recurso normal e integrado na planificação, um recurso excepcional que só um desenvolvimento insuficiente da política de aproveitamentos ou circunstâncias muito excepcionais e anormais poderiam justificar, embora sempre com grave prejuízo da economia nacional.

2.º — Defendeu-se a existência dum abundante apoio térmico, cujas vantagens técnico-económicas foram abundantemente elogiadas, como sendo caracterizado por:

a) Menores despesas de primeiro estabelecimento;

b) Maior elasticidade de produção — Em relação a este ponto o engenheiro Pedro Nunes defendeu o critério, que diria representar o ponto de vista de interesses capitalistas sobrepondo-se a interesses da Nação, de que um grande aproveitamento só deve entrar em serviço quando tiver, imediatamente, a sua produção totalmente coberta;

c) Localização próximo dos centros de consumo — É interessante verificar como se esquece o interesse nacional de colocar as eventuais centrais térmicas de reserva a boca das minas de carvão, para poder aproveitar estes, especialmente os mais pobres.

Não vale a pena comentar a defesa de um apoio térmico abundante, em país como o nosso, sem carvões nem combustíveis líquidos, sujeito a todas as contingências da importação e possuindo reservas hidráulicas ainda aproveitáveis muito econòmicamente.

Mesmo em países com grande produção de carvão o problema é encarado de forma completamente diferente e se caminha, decididamente, para a compensação estival e inter-anual.

O engenheiro Pedro Nunes atacou ainda as albufeiras de compensação inter-anual com o pretexto capcioso de que a sua capacidade só era totalmente utilizada nos anos muito secos, no nosso caso uma vez em 18 anos. O argumento é análogo e afirmar que é absurda a poupança ou o seguro de vida porque ele é utilizado só uma vez ou aquela só é útil em caso de emergência.

E o apoio térmico, não funcionará integralmente também só uma vez em 18 anos? Não será nestas condições muito mais cara a sua conservação e mais oneroso o seu envelhecimento?

O problema da regularização inter-anual e do apoio térmico é um problema que precisa de ser convenientemente debatido, para esclarecimento da opinião técnica. Oportunamente se tratará do caso.

Pretendeu-se, como, aliás, anteriormente, atacar o esquema proposto no seu órgão fundamental: a barragem de Alvito, e para tanto aduziram-se considerações geológicas, em desacordo com a opinião do Professor Fleury, cujo papel se limitou arbitràriamente, e considerações estruturais, que seriam fàcilmente desmentíveis e contestáveis.

Em relação a este ponto porém, limito-me a trancrever a frase pronunciada pelo professor Oberti, autoridade indiscutível no assunto, na conferência pelo mesmo proferida na Ordem dos Engenheiros. O professor Oberti veio propositadamente a Portugal consultado pela Hidro-Eléctrica do Alto Alentejo, para dar a sua opinião sobre as dúvidas suscitadas e o seu relatório será, certamente, ainda mais explícito:

«Dans ce jours j'ai pris contacte avec certains de vos problémes de barrages; dejá je connaissais par la litérature quelqu'unes de vos realisations les plus interessantes:

Castelo de Bode, Santa Luzia, que j'ai visité avec grand plaisir; je viens d'envisager les grands possibilitées que vous avez à ce sujet, en consequence des conditions quelques fois très avantageuses de vos vallées, dont j'ai encore sous les yeux l'exemple remarquable de la gorge d'Alvito. Je me félicite et je félicite la Nation Portugaise de disposer encore d'un emplacement si excéptionnel.».

Também mencionarei o seguinte esclarecimento textual que me foi fornecido pelo Professor Fleury, em troca de impressões havida ùltimamente, depois de nova visita ao local de Alvito, para exame de pesquizas feitas de acordo com o primeiro relatório geológico:

«Os reconhecimentos feitos por trincheiras nas duas vertentes do vale do Ocreza, no local escolhido para a barragem do Alvito, e observações complementares, confirmaram a conclusão geral anteriormente admitida sobre a resistência e a permeabilidade dos quartzites.

Dados concretos obtidos permitem ainda discussão; são, contudo, suficientemente claros para justificar — como em outros locais de barragens projectadas — a continuação dos trabalhos de projecto, incluindo sondagens geológicas e ensaios de permeabilidade».

Sem comentários.

O NOVO PREÇO DA REVISTA

Por lapso, veio incompleto o aviso que publicámos no número anterior sobre o novo preço da nossa revista, e aqui transcrevemos como deve ser.

Os novos preços são:

	Continente e Ilhas	Colónias e Estrangeiro
Assinatura de 12 números	95$00	100$00
» » 6 »	50$00	55$00
» » 3 »	27$50	

TRAÇADOS GRÁFICOS

SUA FINALIDADE INDUSTRIAL

PELO ENG.º-MEC. (I. S. T.) F. A HERRMANN SILVANO
Primeiro Assistente I. S. T.

C. D. 518. 3/4 : 6

Os estudos de construção exigem uma adequada preparação genérica (Matemática, Mecânica, Resistência de Materiais, Estabilidade, Tecnologia Industrial e Geometria Descritiva) e conhecimentos especializados de harmonia com a obra que se pretende realizar.

Os traçados gráficos e os seus cálculos numéricos justificativos acompanham todos os trabalhos técnicos de estudo das construções. Porém, não basta saber desenhar e fazer contas certas para os poder dominar com proveito. Pedem alguma coisa mais «o bom senso construtivo».

A possibilidade construtiva, em boas condições técnico-económicas, envolve a distinção de qual seja a solução mais adaptável para a realização da obra e a que maiores condições de segurança ofereça no seu futuro aproveitamento. Exige um espírito calmo que saiba ponderar com método e justeza «os prós e os contras». Assim se procura a solução que caracteriza a construção equilibrada.

*

A parte gráfica dos estudos de construção faz-se por meio de gráficos, de esboços e de esquemas. Estas representações fornecem com a devida precisão e a necessária clareza, resultados que de outro modo seriam muito morosos de apreender, mostrando-os com a desejada evidência.

Os gráficos revelam a conclusão de estudos de ensaios ou, mesmo, da observação de fenómenos naturais. Baseiam em princípios de geometria analítica, ou de representação vectorial. Os traçados de estática gráfica acompanham, de um modo geral todos os estudos relativos a qualquer género de construção. Os de cinemática, pelo contrário, são pertença da construção das máquinas.

O esboços construtivos fornecem uma ante-visão perfeita e completa, na realidade da sua configuração geométrica e na verdade da sua grandeza, das formas técnicas que pretendem fabricar. Muitas vezes os esboços de construção não são mais do que a concretização de estudos feitos por meio de gráficos. Outras vezes a personalidade do projectista manifesta-se no seu deslineamento. Neste último caso é sempre um trabalho demorado, ora esboçando e corrigindo, ora apagando para de novo reesboçar, até os considerarmos devidamente rectificados e acabados.

Os esboços fazem-se segundo as projecções de Monge, que fielmente representam as formas técnicas.

Os esquemas indicam o funcionamento, sem revelarem a forma técnica. O seu traçado é simples, sendo suficiente o conhecimento das regras de geometria plana.

*

Gráficos, esboços e esquemas registam com nitidez os estudos construtivos.

Nas salas de estudo compete aos engenheiros-projectistas o traçado exacto dos gráficos que, de resto, não chegam a sair deste meio. Os esboços construtivos fazem-se em traçado misto, em que o emprego da régua e do esquadro se alterna com o traçado à mão livre.

Nas salas de desenho, uma vez recebidos os esboços construtivos, passam-se a traçado definitivo.

Os de máquinas detalham-se. Cada peça desenha-se com toda a pormenorização, necessária para o seu fabrico. A reunião destas peças, na sua devida posição e ligação, dá origem aos órgãos de máquinas. As máquinas, motoras e operadoras, e as transmições obtêm-se pela montagem de todos os seus órgãos, conforme mostram os desenhos de conjunto. Nos esquemas de montagem, indicando tanto quanto possível a posição relativa dos órgãos ou da aparelhagem, e nos de funcionamento também se beneficia o seu traçado, se for necessário.

Todos os traçados definitivos se decalcam por meio de papel vegetal dando origem aos «desenhos-matrizes», cujas cópias — os desenhos de construção — seguem para os locais das obras ou para os de fabrico.

Os desenhos arquitectónicos também dão lugar a desenhos de construção.

Ainda nas salas de desenho, a partir das cadernetas dos trabalhos de campo ou das galerias das minas, traçam-se os desenhos topográficos, provenientes de levantamentos feitos segundo as projecções cotadas.

Os desenhos topográficos têm a sua principal aplicação nos trabalhos de obras públicas, destinando-se a avaliar o volume de terras a movimentar e o das águas a represar. Fora disso têm um emprego muito restrito e subsidiário.

*

Os desenhos de construção, nos estaleiros das obras e nas oficinas de fabrico, fornecem elementos precisos e preciosos para as construções se materializarem.

Aos engenheiros-empreiteiros, de construção civil e de obras públicas, os desenhos de construção facilitam indicações que interessam desde as fundações até às coberturas ou ao ponto mais alto das suas obras.

Aos engenheiros de fabrico destinam-se os desenhos de detalhe. Aos montadores os de conjunto. Além da forma técnica, dão indicações sobre: materiais, processos de fabrico, em especial se estes não são os usuais, espaço para o funcionamento, etc.

*

Os traçados gráficos — imaginados por uns, executados por outros e compreendidos por terceiros — têm uma importância manifesta, aparecendo em todas as fases da construção. Pode bem dizer-se que, só por si, constituem uma linguagem.

Uma linguagem indispensável que acompanha todos os trabalhos técnicos de construção.

*

A linguagem dos números também é fundamental, para o engenheiro; mas, o seu campo de acção restringe-se às salas de estudo. Não podemos deixar de focar que os cálculos nunca circulam no próprio ambiente da obra, não invadem os trabalhos de execução. Fazem parte dos preparatórios da construção.

Os traçados gráficos pelo contrário são um guia fiel e permanente durante o estudo e na sua finalidade construtiva.

O certo, porém, é que cálculos e traçados, ambos se amoldam às exigências da vida construtiva e industrial.

AOS NOSSOS LEITORES

Inserimos no número de Julho passado um inquérito ao qual tinhamos muito interesse que os nossos leitores respondessem. Como, até hoje, poucas respostas chegaram até nós, vimos chamar novamente a atenção de todos para a vantagem que havia, para o progresso da nossa revista, em que todos dessem a sua opinião.

GABINETE DE ESTUDOS HIDRÁULICOS

ORGANIZADO EM 1945

Telefones 4 5451 e 5 3873 — Rua Rodrigo da Fonseca, 62-4.º D.to — LISBOA

ABASTECIMENTOS de ÁGUA

Direcção do
Eng.º Ferreira Chaves

Alguns trabalhos realizados:

Abastecimento de Água de Setúbal.

Ampliação do Abastecimento de Água do Funchal (Plano Geral).

CAPTAÇÕES SUBTERRÂNEAS
SONDAGENS

Direcção do
Eng.º Augusto Cavaco

Alguns trabalhos realizados:

Estação de Valada (Comp.ª das Águas de Lisboa)

Captações do Canário (S. Miguel — Açores).

TRABALHOS MARÍTIMOS
FUNDAÇÕES

Direcção do
Eng.º Vasco Costa

Alguns trabalhos realizados:

Estudo de obras acostáveis (Figueira da Foz e S. Tomé).

Fundação flutuante sobre lôdos (Sacavém).

APROVEITAMENTOS
HIDRO-AGRÍCOLAS
E
HIDRO-ELÉCTRICOS

—

"APAGEL"

Direcção do
Eng.º Barrancos Vieira

Alguns trabalhos realizados:

Rega (projectos e execução):

Aprov. Hidro-Agrícola de Vale de Moura (Rega de 250 ha).

Aprov. Hidro-Agrícola de Mercês (Rega de 40 ha).

Energia (projectos):

Aprov. Hidro-Eléctrico do Biópio (Angola).

Obras de Derivação e Central Subterrânea de Salamonde (Cávado).

A Timken Roller Bearing Company de Canton, Ohio, E. U. A.

... avisa o público que, em virtude de sentença do tribunal americano «United States District Court for the Northern District of Ohio, Eastern Division», no litígio: «United States of America vs. The Timken Roller Bearing Company», o seu contrato com a British Timken Ltd., de Birmingham, Inglaterra, e com a Société Anonyme Française Timken, de Asnières, França, concedendo a essas companhias o direito exclusivo da venda de rolamentos cónicos em certos e determinados territórios, para serem utilizados em montagens de maquinismos novos e, ao mesmo tempo, impondo-nos certas condições na sua venda como peças sobresselentes, nos mesmos territórios, terminou, ficando interdita a sua prorrogação.

Estamos autorizados, desde já, a vender rolamentos cónicos em todos os territórios independentemente de quaisquer restrições a que estávamos sujeitos pelo mesmo contrato.

THE TIMKEN ROLLER BEARING COMPANY,
CANTON 6, OHIO, U. S. A.

DIMENSIONAMENTO EXPERIMENTAL DAS ESTRUTURAS

POR MANUEL ROCHA

(Engenheiro-Chefe de Serviço, Laboratorio de Engenharia Civil)

(Continuação do número anterior)

C. D. 624.04.001.57

C. — Protótipo em deformação elástica [1]

17. — Como foi referido no Capítulo I, a averiguação da segurança das estruturas faz-se correntemente a partir da consideração dos estados de tensão desenvolvidos pela actuação das solicitações de serviço. Como, para a maior parte das estruturas, tais estados de tensão correspondem a deformações que, com aproximação razoável, se podem considerar elásticas, o estudo da semelhança na hipótese dos materiais do protótipo serem elásticos apresenta grande importância.

Em virtude de, nesta hipótese, se verificar a sobreposição dos efeitos das solicitações, é possível considerar isoladamente cada uma delas, o que traz com frequência simplificações importantes. No entanto quando há solicitações cujos efeitos se compensam, tais como o peso próprio e a impulsão sobre uma barragem, pode haver necessidade de as aplicar simultâneamente a fim de evitar o aparecimento de tensões excessivamente elevadas em certas regiões do modelo.

Caso geral

18. — Consideremos, em primeiro lugar, o caso geral do protótipo ter forma qualquer e ser constituído por um ou mais materiais que, para as solicitações aplicadas, sofrem deformações obedecendo à lei de Hooke.

Vamos estabelecer as condições a que deve satisfazer um modelo geomètricamente semelhante, constituído em geral por materiais diferentes dos do protótipo, de modo a haver proporcionalidade entre os deslocamentos, as extensões e as tensões. São aplicáveis todas as conclusões tiradas nos artigos 13 a 16, visto se referirem a materiais quaisquer.

a) *Protótipo em equilíbrio estático sob a acção de forças de superfície.*

19. — Suponhamos o protótipo constituído por um material homogéneo, isótropo e elástico, com um módulo de elasticidade E_p e um coeficiente de Poisson ν_p.

Do exposto no artigo 14 resulta, para haver proporcionalidade entre os deslocamentos, as extensões e as tensões, ser necessário que o material do modelo também seja homogéneo, isótropo e elástico. O seu módulo de elasticidade, E_m, pode, aliás, ser qualquer, mas o coeficiente de Poisson, ν_m, terá de satisfazer a $\nu_m = \nu_p$ (artigo 13). Subsistirão então as relações (3) quando as solicitações actuantes na superfície satisfazerem a (4).

Se for designada por $\frac{1}{\varphi}$ a escala das forças e por $\frac{1}{\mu}$ a dos módulos de elasticidade,

$$F_m = \frac{1}{\varphi} F_p$$

$$E_m = \frac{1}{\mu} E_p \qquad (7)$$

---

[1] Para o estabelecimento das condições de semelhança em regime elástico utilizando a análise dimensional ver, por exemplo, Langhaar «Dimensional analysis and theory of models», John Wiley and Sons, 1951, e Goodier, J., «Dimensional analysis», Appendix II, pg. 1035, Handbook of experimental stress analysis, Jonh Wiley and Sons, 1950.

resulta

$$f_m = \frac{\lambda^2}{\varphi} f_p$$

convertendo-se as expressões (3) nas seguintes

$$\delta_m = \mu \frac{\lambda}{\varphi} \delta_p$$

$$\varepsilon_m = \mu \frac{\lambda^2}{\varphi} \varepsilon_p \tag{8}$$

$$t_m = \frac{\lambda^2}{\varphi} t_p$$

A escala das forças pode tomar um valor qualquer (desde que não sejam excedidas as deformações elásticas), pois que no caso dos materiais elásticos $\frac{1}{\alpha}$ é arbitrário. A escala do tempo $\frac{1}{\tau}$ também é arbitrária.

As reacções dos apoios satisfarão a

$$r_m = \frac{\lambda^2}{\varphi} r_p \quad \text{ou} \quad R_m = \frac{1}{\varphi} R_p \tag{9}$$

desde que aos apoios fixos do protótipo se façam corresponder apoios fixos no modelo, e aos apoios com deslocamento apoios tais que, quando submetidos às reacções (9), sofram deslocamentos à escala $\mu \frac{\lambda}{\varphi}$. Aliás os efeitos dos deslocamentos dos apoios podem ser determinados independentemente do efeito das solicitações, impondo aos modelos esses deslocamentos.

Se o protótipo for constituído por diversos materiais elásticos com módulos de elasticidade E'_p, E''_p, ... e coeficientes de Poisson ν'_p, ν''_p, ..., subsistem as relações (8), desde que os materiais homólogos do modelo tenham constantes elásticas E'_m, E''_m, ..., e ν'_m, ν''_m, ..., satisfazendo a

$$\frac{E'_m}{E'_p} = \frac{E''_m}{E''_p} = \ldots = \frac{1}{\mu}$$

e

$$\nu'_m = \nu'_p \qquad \nu''_m = \nu''_p \qquad \ldots$$

isto é, para os materiais homólogos, os módulos de elasticidade têm de estar à mesma escala e os coeficientes de Poisson têm de ser iguais.

Quando se admita que os materiais do protótipo e do modelo seguem a lei de Hooke até à rotura, para ser possível estudar sobre modelo o efeito de solicitações que provoquem roturas é necessário que as tensões de rotura à tracção e compressão, σ_p e σ_m, satisfaçam a

$$\left(\frac{\sigma_m}{\sigma_p}\right)_{\text{tracção}} = \left(\frac{\sigma_m}{\sigma_p}\right)_{\text{compressão}} = \frac{\lambda^2}{\varphi}$$

condições que impõem um valor para a escala das forças.

As conclusões tiradas até agora só são, em geral, legítimas no caso de pequenos deslocamentos. Para grandes deslocamentos só subsistirão quando, como se viu no artigo 14, for $\frac{1}{\beta} = 1$, isto é, $\varepsilon_m = \varepsilon_p$, donde resulta

$$\delta_m = \frac{1}{\lambda} \delta_p$$

$$l_m = \frac{1}{\mu} l_p$$

e ainda

$$f_m = \frac{1}{\mu} f_p \quad \text{e} \quad F_m = \frac{1}{\lambda^2 \mu} F_p$$

Portanto, fixadas as escalas do modelo e dos módulos de elasticidade, a escala das forças fica também fixada.

É portanto possível estudar sobre modelo o comportamento de molas muito flexíveis, a instabilidade elástica de placas, a flexão de vigas carregadas também axialmente, etc. Nos casos de instabilidade as cargas críticas estão à escala $\frac{1}{\lambda^2 \mu}$.

Deve notar-se que no caso de grandes deslocamentos não se verifica proporcionalidade entre as forças aplicadas e os consequentes deslocamentos, extensões e tensões.

20. — Há certos materiais que apresentam os fenómenos de fluência e de relaxação e que, portanto, não obedecem à lei de Hooke, para os quais é, contudo, possível generalizar a noção de módulo de elasticidade.

Assim, suponhamos que submetemos diversos prismas de um material que apresenta fluência, a solicitações uniaxiais constantes σ', σ'', ..., e que, às extensões, ε, (fig. 5), observadas nos diversos prismas, para uma mesma duração, θ, de actuação da solicitação, correspondem diagramas rectilíneos. Então poderá dizer-se que existe um módulo de elasticidade função do tempo, o qual variará desde um valor inicial E_0 até um valor final E_1 correspondente à duração θ_1 do fenómeno da fluência.

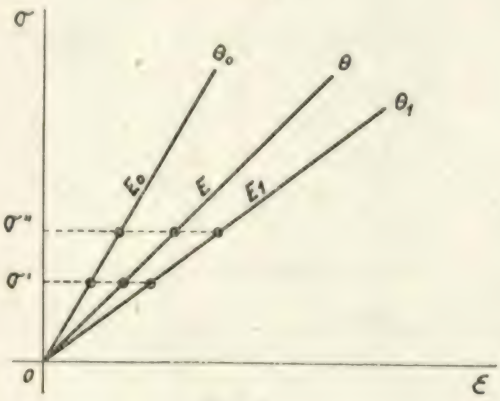


Fig. 5

A propriedade que acabamos de referir observa-se no betão, até tensões da ordem das de serviço, no celulóide, em resinas sintéticas, nos aglomerados de cortiça, etc.

Se, num dado instante, for aplicado um sistema de forças a um sólido constituído por um tal material, o estado de tensão inicial mantém-se no decorrer do tempo apesar das deformações e, portanto, os deslocamentos, evoluiram, na razão inversa do valor do módulo de elasticidade. Esta conclusão implica admitir-se que se verifica a sobreposição dos efeitos para estados múltiplos de tensão e, ainda, que, no caso do estado de tensão ser influenciado pelo valor do coeficiente de Poisson, este se mantém constante.

Se existir para o protótipo ou para o modelo ou para ambos um módulo de elasticidade função do tempo, subsistirão as relações (8), com $\frac{1}{\mu}$ variável, quando se aplicam ao protótipo e, consequentemente, ao modelo solicitações constantes.

Este resultado é muito importante pois a maior parte dos materiais usados correntemente na construção de modelos apresentam deformações por fluência para as quais se

pode supor, com suficiente aproximação, que existe um módulo de elasticidade função do tempo. Em geral prefere-se fazer as observações sobre os modelos após as deformações terem estabilizado, isto é, passado o tempo θ_1 após a aplicação de cargas, o qual por via de regra se pode supor inferior a 20 minutos.

Em certos métodos de estudo de modelos de estruturas constituídas por peças lineares, que serão referidos no Cap. IV, impõem-se dados deslocamentos a determinados pontos dos modelos. Para a maior parte dos materiais usados na construção de modelos, verifica-se que a configuração inicial que o modelo toma se mantém no decorrer do tempo, apesar de se tratar de materiais com relaxação. Tal constatação mostra que as tensões actuantes num elemento de volume do modelo submetido a uma deformação constante decrescem proporcionalmente ao valor inicial das tensões; isto é, pode supor-se a existência de um módulo de elasticidade função do tempo.

Em tal caso subsistem portanto, ainda, as conclusões estabelecidas para os materiais elásticos.

b) *Protótipo em equilíbrio dinâmico sob a acção de forças de superfície e mássicas.*

21. — No caso geral de um protótipo, constituído por materiais elásticos, em equilíbrio dinâmico sob a acção de forças de superfície e forças mássicas, para se verificar a semelhança é necessário que os materiais do modelo sejam elásticos, com os módulos de elasticidade homólogos à mesma escala e os coeficientes de Poisson homólogos iguais, e, ainda, que se verifiquem as relações (5) e (6) do artigo 15. Então subsistirão em instantes homólogos as relações (8).

Fazendo figurar nas expressões (5) e (6) $\frac{1}{\varphi}$ e $\frac{1}{\mu}$ em vez de $\frac{1}{\alpha}$ e $\frac{1}{\beta}$, vem

$$\begin{aligned} \frac{1}{\varphi} &= \frac{1}{\lambda^3 \rho} \\ \frac{1}{\tau} &= \frac{1}{\lambda} \sqrt{\frac{\mu}{\rho}} \end{aligned} \tag{10}$$

isto é, fixados os materiais do protótipo e do modelo e a escala $\frac{1}{\lambda}$, há só um valor da escala das forças e outro da dos tempos para os quais se verifica a semelhança. As expressões (8) tomam a forma

$$\begin{aligned} \delta_m &= \frac{\mu}{\lambda^2 \rho} \delta_p \\ \varepsilon_m &= \frac{\mu}{\lambda \rho} \varepsilon_p \\ t_m &= \frac{1}{\lambda \rho} t_p \end{aligned} \tag{11}$$

O modelo, apoiado de maneira análoga à do protótipo, terá de partir de uma configuração na qual os deslocamentos estejam à escala $\frac{\mu}{\lambda^2 \rho}$ e as velocidades à escala $\frac{\tau}{\lambda \beta} = \frac{1}{\lambda} \sqrt{\frac{\mu}{\rho}}$, devendo as forças à escala $\frac{1}{\varphi}$ ser aplicadas em instantes à escala $\frac{1}{\tau}$.

No caso particular de não ser necessário ter em conta o efeito do peso próprio, só fica fixada a escala dos tempos, podendo portanto as forças a aplicar, em instantes homólogos, ter uma escala qualquer.

Uma vez fixada esta escala, a primeira das relações (8) define a escala dos deslo-

camentos, $\mu \frac{\lambda}{\varphi}$, e, portanto, também a configuração inicial do modelo, na qual se têm de impor velocidades à escala $\frac{\tau}{\lambda \beta} = \frac{\mu \lambda}{\varphi} \cdot \tau$. Em muitos casos fixa-se a escala da configuração inicial em vez da das forças.

Como foi dito no artigo 15, $\frac{1}{\tau}$ é a escala dos períodos de oscilação homólogos no caso de se tratar de vibrações.

A título de exemplo, suponhamos que se desejava determinar sobre modelo o comportamento elástico de uma lage (fig. 6), apoiada em dois pontos fixos A e B, e num terceiro ponto C por intermédio de uma mola. Supõe-se a lage submetida à acção de uma carga F_p de variação sinusoidal, com período Θ_p, e amplitude F_{po}, $F_p = F_{po} \operatorname{sen} \frac{2\pi}{\Theta_p} \theta_p$.

O modelo, geomètricamente semelhante, terá de ser de material elástico com $\nu_m = \nu_p$. Supondo que o peso da lage deve ser tido em conta, têm de se verificar as relações (10), as quais impõem que a força homóloga F_m a aplicar ao modelo tenha a amplitude $F_{mo} = \frac{1}{\lambda^3 \rho} F_{po}$, e o período $\Theta_m = \frac{1}{\lambda} \sqrt{\frac{\mu}{\rho}} \Theta_p$; no caso de não ser necessário considerar o peso próprio, a escala da amplitude pode ser qualquer. Se for K_p a constante da mola de apoio do protótipo, isto é, a força que lhe impõe um alongamento igual à unidade, o apoio homólogo do modelo terá de ser tal que, sob a acção de uma força $\frac{K_p}{\varphi}$, sofra uma deformação $\frac{\mu \lambda}{\varphi}$, portanto tenha uma constante $\frac{K_p}{\mu \lambda}$. Em instantes θ_p e $\theta_m = \frac{\theta_p}{\tau}$ verificam-se as relações (8).

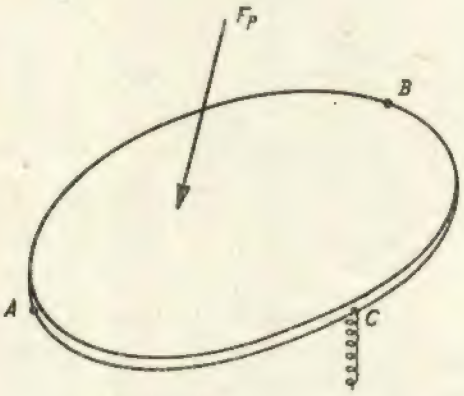


Fig. 6

Quando se trata de equilíbrios estáticos em que haja a ter em conta o efeito de forças de superfície e do peso próprio, então terá de se verificar sòmente a primeira das expressões (10). No caso de se desejar estudar separadamente o efeito destas duas solicitações, pode tomar-se uma escala qualquer para as forças de superfície; para o efeito do peso próprio subsistem as expressões (11). Em geral, para as escalas correntes dos modelos, mesmo para pesos específicos d_m elevados, é difícil o estudo dos efeitos do peso próprio sobre modelos, dado o pequeno valor das solicitações. Recorre-se por isso, às vezes, aos artifícios, atrás referidos, de efeito equivalente a um aumento do valor de d_m.

c) *Protótipo submetido a variações de volume*

22. — Os materiais do modelo deverão ainda satisfazer às condições enunciadas no artigo 19, devendo impor-se a elementos de volume homólogos extensões proporcionais. No caso de variações de temperatura, terá de ser

$$\Delta_m = \frac{1}{\omega} \Delta_p$$

sendo $\frac{1}{\omega}$ qualquer.

As relações (8) convertem-se em

$$\delta_m = \frac{1}{\omega \lambda \varkappa} \delta_p$$

$$\varepsilon_m = \frac{1}{\omega \varkappa} \varepsilon_p$$

$$t_m = \frac{1}{\omega \mu \varkappa} t_p$$

Equilíbrios a duas dimensões e a deformação plana

23. — Consideremos uma placa de pequena espessura, constituída por um material elástico, em equilíbrio estático a duas dimensões sob a acção de forças de superfície (periferia) que supomos uniformemente distribuídas ao longo das geratrizes do contorno (fig. 7). Aparecem na construção muitos equilíbrios que podem, com aproximação razoável, ser considerados a duas dimensões.

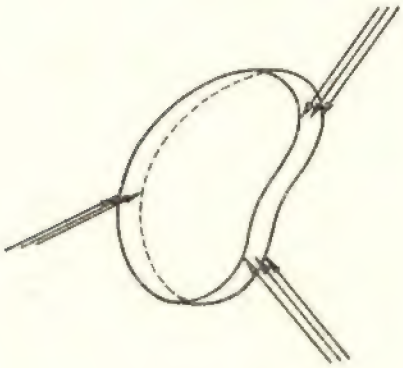


Fig. 7

O estado de tensão que se desenvolve, além de não depender do módulo de elasticidade, não depende também, como mostra a Teoria da Elasticidade, do coeficiente de Poisson, a não ser que a placa seja mùltiplamente conexa e que no contorno exterior ou em qualquer dos interiores actuem forças cujo vector principal não seja nulo [1] (forças não equivalentes a zero ou a um binário), (fig. 8).

Por isso é possível, no caso de equilíbrios estáticos a duas dimensões de sólidos elásticos, fazer a determinação de tensões sobre um modelo de um material elástico qualquer, circunstância que tem repercussões práticas importantes, em particular na fotoelasticidade onde se tem de utilizar materiais muito diversos dos materiais de construção correntes.

A espessura do modelo pode ser tomada, como é óbvio, a uma escala diferente de $\frac{1}{\lambda}$, com a condição de ser suficientemente pequena de modo que o equilíbrio do modelo seja um equilíbrio a duas dimensões. Tal possibilidade simplifica muito a construção dos modelos os quais podem assim ser fabricados a partir de chapas com qualquer espessura.

Se for $\frac{1}{c\lambda}$ a escala das espessuras, será

$$t_m = \frac{\lambda^2 c}{\varphi} t_p$$

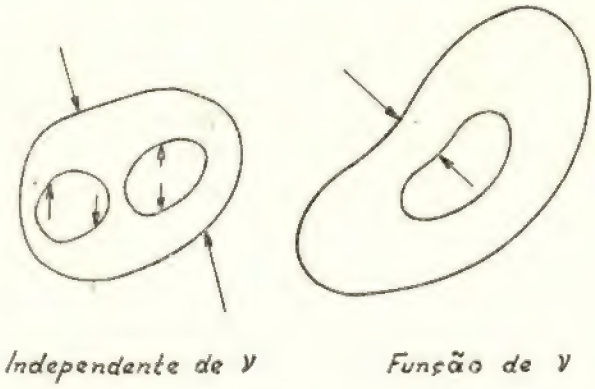


Fig. 8

Deve notar-se que, mesmo nos casos referidos nos quais o estado de tensão depende do coeficiente de Poisson, a influência deste coeficiente é pequena, podendo em geral ser desprezada.

---

[1] Coker, E., Filon, L., «A treatise on photoelasticity», Cambridge Univ. Press, 1931, pg. 516.

As considerações feitas no artigo 20 àcerca de materiais com módulo de elasticidade função do tempo adaptam-se directamente aos equilíbrios a duas dimensões.

24. — Quando os materiais do protótipo e do modelo têm coeficientes do Poisson diferentes, as extensões e os deslocamentos homólogos não são proporcionais. Os valores que estas grandezas tomam no protótipo podem ser determinados analìticamente a partir do conhecimento das suas constantes elásticas e das tensões desenvolvidas, as quais são proporcionais às observadas no modelo.

No caso de existirem apoios hiperestáticos, a não proporcionalidade dos deslocamentos trás como consequência que não há semelhança, mesmo para as tensões, e então para que ela subsista terá de se respeitar a condição $\nu_m = \nu_p$. Anàlogamente, se a placa for constituída por diversos materiais, só haverá semelhança se os coeficientes de Poisson dos materiais homólogos do protótipo e do modelo forem iguais.

Se a placa estiver submetida a forças mássicas actuantes no seu plano, a Teoria da Elasticidade mostra que o estado de tensão é ainda, em geral, independente do coeficiente de Poisson quando as forças mássicas forem constantes, condição à qual satisfaz o peso próprio.

No caso presente dos equilíbrios a duas dimensões, dada a pequena espessura do sólido, é fácil aplicar ao modelo forças complementares equivalentes a um aumento da massa específica. Designando por d_m a massa específica do material do modelo ou a equivalente à aplicação de forças complementares, vem, qualquer que seja a escala das espessuras,

$$t_m = \frac{1}{\lambda \varrho} t_p$$

Nos equilíbrios a duas dimensões é possível fazer a determinação do efeito do peso próprio, e, dum modo geral, de forças mássicas, substituindo estas forças por outras actuando na periferia da placa [1].

Se uma placa está submetida a variações de temperatura ou a outras causas que provoquem variações de volume, então, visto haver necessidade de introduzir condições relativas a deformações, para haver semelhança, mesmo quanto às tensões, é necessário que os coeficientes de Poisson sejam iguais, $\nu_m = \nu_p$.

25. — São ainda frequentes na construção os equilíbrios em deformação plana, isto é, os equilíbrios de peças cilíndricas com grande altura e de directriz qualquer submetidas a forças uniformemente distribuídas ao longo das geratrizes, quando a distância entre duas secções transversais não varia.

A Teoria da Elasticidade mostra que o estado de tensão numa secção transversal do cilindro é o mesmo que o desenvolvido numa placa de pequena espessura, extraída do cilindro por cortes transversais, submetida às mesmas forças que sobre ela actuavam quando fazia parte do cilindro.

Deste modo a determinação dessas tensões pode ser feita a partir de um modelo elástico com um coeficiente de Poisson qualquer. As tensões desenvolvidas paralelamente ao eixo do cilindro deduzem-se a partir das tensões na placa, atendendo a que as extensões nessa direcção são nulas.

Estruturas lineares

26. — Consideremos agora o caso dos protótipos constituídos por peças lineares, isto é, peças nas quais uma dimensão é muito maior do que as restantes, podendo os eixos

---

(1) Ref. (2) da pág. 21 do número anterior da «Técnica».

das peças ser rectilíneos ou curvilíneos. Designamos abreviadamente tais protótipos por estruturas lineares.

O seu estudo pode fazer-se sobre modelos geomètricamente semelhantes constituídos por materiais satisfazendo às condições já enunciadas nos artigos anteriores.

Vamos ver que, dentro das aproximações correntes da Resistência de Materiais, é possível fazer o estudo de estruturas lineares sobre modelos cujas secções não são geomètricamente semelhantes às do protótipo, no caso das deformações serem elásticas.

Esta possibilidade tem grande interesse prático pois permite substituir as formas das secções transversais das peças, frequentemente muito complexas, por outras mais fáceis de reproduzir nos modelos. Tal simplificação é particularmente importante no caso de estruturas lineares metálicas.

a) *Estrutura linear qualquer*

27. Consideremos uma estrutura linear elástica, isostática ou hiperestática, plana ou no espaço, submetida a forças de superfície.

Relativamente a uma secção transversal duma peça qualquer da estrutura (fig. 9) designemos por

E módulo de elasticidade

$G = \dfrac{E}{2\,(1+\nu)}$ módulo de deslisamento

O centro de gravidade

Ox, Oy eixos centrais de inércia

dA secção transversal da fibra média

T_x, T_y e N projecções, sobre os eixos Ox e Oy e sobre a normal à secção, da resultante das forças actuantes sobre a peça de um dos lados da secção.

M_x, M_y e M_t projecções, sobre os mesmos eixos, do momento em relação a O das forças actuantes sobre a peça de um dos lados da secção.

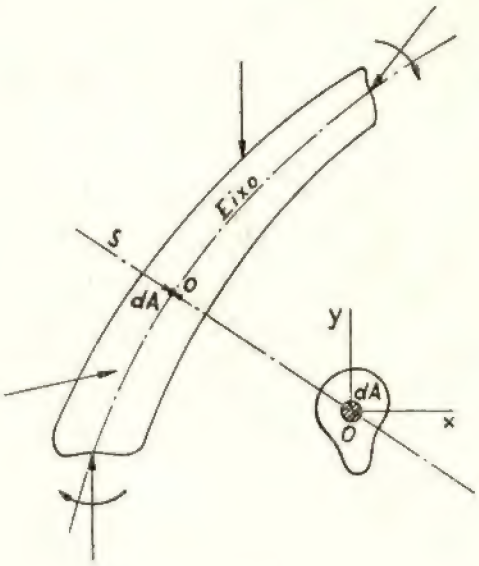


Fig. 9

A Resistência de Materiais admite que o estado de tensão numa secção transversal de uma estrutura linear só depende das 6 grandezas T_x, T_y, N, M_x, M_y, e M_t, que designamos por esforços.

Consideremos um elemento da fibra média, de secção dA, e definamos o deslocamento de uma das bases deste elemento em relação à outra pelas 3 componentes da translação e pelas 3 componentes da rotação. Dentro da aproximação da Resistência de Materiais, essas componentes, por unidade de comprimento do elemento da fibra, são dadas pelas expressões seguintes, quando se desprezam os efeitos de torsão devidos a T_x e T_y:

— componentes da translação paralelas a Ox, Oy e à normal à secção $\dfrac{T_x}{\xi GS}$, $\dfrac{T_y}{\eta GS}$, $\dfrac{N}{ES}$

— componentes da rotação em relação aos mesmos eixos . . . . . $\dfrac{M_x}{EI_x}$ $\dfrac{M_y}{EI_y}$ $\dfrac{M_t}{\zeta GI_t}$

designando por

S área da secção transversal da peça

I_x I_y momentos de inércia em relação a Ox e Oy

I_t momento polar de inércia

ξ, η, ζ factores dependentes da forma da secção transversal

Suponhamos que substituímos os materiais e as formas das secções transversais das peças da estrutura por outros tais que as componentes da deformação de um elemento da fibra média variam proporcionalmente ao longo de toda a estrutura; terá de ser

$$\frac{\xi_q\, G_q\, S_q}{\xi_p\, G_p\, S_p} = \frac{\eta_q\, G_q\, S_q}{\eta_p\, G_p\, S_p} = \frac{E_q\, S_q}{E_p\, S_p} = \frac{E_q\, I_{xq}}{E_p\, I_{xp}} = \frac{E_q\, I_{yq}}{E_p\, I_{yp}} = \frac{\zeta_q\, G_q\, I_{tq}}{\zeta_p\, G_p\, I_{tp}} = \frac{1}{C}$$

onde os índices p e q se referem à estrutura dada e à estrutura resultante da mudança de secções, e C é uma constante ao longo da estrutura. As novas componentes da deformação, por serem proporcionais às anteriores, satisfazem, desde que os deslocamentos sejam pequenos, às condições de compatibilidade das deformações das fibras médias das várias peças da estrutura e às condições impostas por apoios fixos ou móveis, dando a estes últimos uma deformabilidade C vezes maior. Portanto, sob acção das mesmas forças, os esforços desenvolvidos nas duas estruturas serão os mesmos, desde que se trate de equilíbrios estáticos.

Da estrutura com as secções modificadas construamos um modelo geomètricamente semelhante, à escala $\frac{1}{\lambda'}$, constituído pelos mesmos materiais desta estrutura. Será pois, afectando do índice m as grandezas relativas ao modelo,

$$E_m = E_q \qquad \xi_m = \xi_q \qquad S_m = \frac{1}{\lambda'^2}\, S_q$$

$$G_m = G_q \qquad \eta_m = \eta_q \qquad I_m = \frac{1}{\lambda'^4}\, I_q$$

$$\zeta_m = \zeta$$

Substituindo estes valores nas relações anteriores, e exprimindo os módulos de deslisamento em função das constantes elásticas, vem

$$\frac{\xi_m\,(1+\nu_p)\, S_m}{\xi_p\,(1+\nu_m)\, S_p} = \frac{\eta_m\,(1+\nu_p)\, S_m}{\eta_p\,(1+\nu_m)\, S_p} = \frac{S_m}{S_p} = \frac{I_{xm}}{I_{xp}}\,\lambda'^2 = \frac{I_{ym}}{I_{yp}}\,\lambda'^2 = \frac{\zeta_m\,(1+\nu_p)\, I_{tm}}{\zeta_p\,(1+\nu_m)\, I_{tp}}\,\lambda'^2 =$$

$$= \frac{1}{C}\,\frac{\mu}{\lambda'^2} = \frac{1}{C_1}\,\mu$$

sendo C_1 constante ao longo da estrutura.

Atendendo a que $I_t = I_x + I_y$, vem

$$\frac{\xi_m}{\xi_p} = \frac{\eta_m}{\eta_p} = \frac{\zeta_m}{\zeta_p} = \frac{1+\nu_m}{1+\nu_p}$$

e (12)

$$\frac{S_m}{S_p} = \frac{I_{xm}}{I_{xp}}\,\lambda'^2 = \frac{I_{ym}}{I_{yp}}\,\lambda'^2 = \frac{1}{C_1}\,\mu = \frac{1}{C_2}$$

sendo a escala das secções, $\frac{1}{C_2}$, constante ao longo da estrutura no caso da escala dos módulos de elasticidade se manter constante.

Portanto, num modelo com os eixos geomètricamente semelhantes, à escala $\frac{1}{\lambda'}$, aos do protótipo, são estas 6 as condições a que têm de satisfazer os materiais e as formas de secções transversais homólogas para haver proporcionalidade entre os esforços homólogos, no caso de equilíbrios estáticos. Se for $\frac{1}{\varphi}$ a escala das forças homólogas, os esforços estão relacionados por

$$
\begin{aligned}
T_{xm} &= \frac{1}{\varphi} T_{xp} & M_{xm} &= \frac{1}{\lambda'\varphi} M_{xp} \\
T_{ym} &= \frac{1}{\varphi} T_{yp} & M_{ym} &= \frac{1}{\lambda'\varphi} M_{yp} \\
N_m &= \frac{1}{\varphi} N_p & M_{tm} &= \frac{1}{\lambda'\varphi} M_{tp}
\end{aligned}
\tag{13}
$$

A determinação dos esforços desenvolvidos nos modelos faz-se por métodos que são indicados na parte D do Cap. IV. Conhecidos os esforços no protótipo eles permitem calcular as deformações e as tensões que nele se desenvolvem.

Atendendo a que, ao passar do protótipo dado para a estrutura com as secções modificadas, os deslocamentos de pontos homólogos da fibra média estão relacionados por $\delta_p = \frac{1}{C} \delta_q$, e que, ao passar desta para o modelo, se verifica $\delta_m = \frac{\lambda'}{\varphi} \delta_q$, conclui-se que os deslocamentos de pontos homólogos da fibra média do protótipo e do modelo satisfazem a

$$\delta_m = \frac{C_2 \mu}{\lambda' \varphi} \delta_p$$

As rotações de duas secções homólogas estão, portanto, à escala $\frac{C_2 \mu}{\varphi}$.

Aos apoios hiperestáticos do protótipo que apresentem deslocamentos deverão corresponder no modelo apoios que, para forças à escala $\frac{1}{\varphi}$, sofram deslocamentos à escala $\frac{C_2 \mu}{\lambda' \varphi}$.

28. — Suponhamos agora que o protótipo se encontra em equilíbrio dinâmico sob a acção de forças de superfície e do peso próprio. Então as escalas do peso próprio e das forças de inércia têm de ser iguais à escala das forças de superfície:

$$\frac{d_m S_m}{d_p S_p} \cdot \frac{1}{\lambda'} = \frac{1}{\varphi}$$

$$\frac{d_m S_m}{d_p S_p} \cdot \frac{1}{\lambda'} \cdot \frac{\tau^2 C_2 \mu}{\lambda' \varphi} = \frac{1}{\varphi}$$

Portanto, as escalas das forças aplicadas e dos tempos são

$$\frac{1}{\varphi} = \frac{1}{\lambda' \rho C_2}$$
$$\frac{1}{\tau} = \frac{1}{\lambda'} \sqrt{\frac{\mu}{\rho}} \tag{14}$$

Deve notar-se que o facto de $\frac{1}{\varphi}$ e $\frac{1}{\tau}$ terem de tomar o mesmo valor em todas as secções arrasta sujeições quanto à variação das características dos materiais e das secções ao longo do modelo.

Satisfeita a semelhança subsistem as expressões (13).

Tal como nos casos tratados anteriormente, o modelo deve partir de uma configuração satisfazendo a escala dos deslocamentos, $\frac{C_2 \mu}{\lambda' \varphi}$, e com velocidades à escala $\frac{\tau C_2 \mu}{\lambda' \varphi}$.

Quando não interesse a consideração do peso próprio, pode tomar-se uma escala qualquer para as forças aplicadas à superfície, havendo sòmente a respeitar a escala dos tempos.

29. — Quanto às condições (12), é, no caso de equilíbrios no espaço, difícil de respeitá-las com rigor sem cair em modelos com secções geomètricamente semelhantes e nos quais $\nu_m = \nu_p$, isto é, modelos satistazendo às condições gerais de semelhança.

Dum modo geral, quando se deseja recorrer a modelos com secções não geomètricamente semelhantes, deverá procurar-se satisfazer mais rigorosamente às condições (12) correspondentes às deformações que mais concorrem para os deslocamentos dos pontos das fibras médias.

Consideramos a seguir alguns casos particulares importantes nas aplicações.

b) *Estruturas lineares planas submetidas a forças no seu plano*

30. — Só há a considerar os esforços $T_x = T$, N e $M_y = M$. Portanto, para haver proporcionalidade entre os esforços desenvolvidos, basta que

$$\frac{\xi_m}{\xi_p} = \frac{1 + \nu_m}{1 + \nu_p}$$

e

$$\frac{S_m}{S_p} = \frac{I_m}{I_p} \lambda'^2 = \frac{1}{C_1} \mu = \frac{1}{C_2}$$

Visto que, exceptuadas peças de grande altura, os deslocamentos devidos às deformações provocadas pelos esforços transversos são pequenos não tem de ser considerada a sua influência nos esforços desenvolvidos na estrutura. Por isso basta considerar as duas últimas condições.

Estas podem ser satisfeitas dando ao modelo, como é conveniente na prática, secções rectangulares. Designando por b_m e h_m, a espessura e a altura duma secção do do modelo, terá de ser

$$\frac{b_m h_m}{S_p} = \frac{b_m h^3_m}{12 I_p} \lambda'^2 = \frac{1}{C_2}$$

donde

$$h_m = \frac{1}{\lambda'} \sqrt{\frac{12\, I_p}{S_p}}$$

e

$$b_m = \frac{S_p}{h_m\, C_2}$$

Satisfeitas estas condições os esforços homólogos estão, conforme (13), relacionados por

$$T_m = \frac{1}{\varphi}\, T_p$$

$$N_m = \frac{1}{\varphi}\, N_p$$

$$M_m = \frac{1}{\lambda' \varphi}\, M_p$$

31. — No caso, muito corrente, dos esforços desenvolvidos numa estrutura não serem apreciàvelmente influenciados pelas deformações devidas aos esforços normais, basta que se verifique a relação

$$\frac{I_m}{I_p}\, \lambda'^2 = \frac{1}{C_2}$$

donde

$$\frac{I_m}{I_p} = \frac{1}{C_3}$$

sendo

$$\frac{1}{C_3} = \frac{1}{C_2\, \lambda'^2}$$

Se as secções do modelo forem rectangulares, a sua espessura, b_m, pode ser constante em todo o modelo, e a altura será dada por

$$h_m = \sqrt[3]{\frac{12\, I_p}{C_3\, b_m}}$$

Tais modelos podem pois obter-se a partir de uma chapa de material elástico com qualquer espessura.

c) *Estruturas lineares, planas ou no espaço, constituídas por peças rectilíneas articuladas*

32. — Supondo as articulações situadas nos eixos, há sòmente a considerar o esforço normal e, portanto, as condições (12) reduzem-se a

$$\frac{S_m}{S_p} = \frac{1}{C_1}\, \mu = \frac{1}{C_2}$$

Se os materiais do protótipo e do modelo forem homogéneos basta pois que as áreas das secções homólogas sejam proporcionais.

Os modelos podem ser constituídos por peças de secção rectangular com espessura constante e altura dada por

$$h_m = \frac{S_p}{C_2\, b_m}$$

Os esforços normais estão relacionados por

$$N_m = \frac{1}{\varphi} N_p$$

e as tensões e as extensões longitudinais por

$$t_m = \frac{C_2}{\varphi} t_p$$

$$\varepsilon_m = \frac{C_2 \mu}{\varphi} \varepsilon_p \ .$$

33. — Como exemplo de aplicação dos resultados obtidos, vejamos quais as condições a que deve satisfazer um modelo da viga de betão armado, com tirante e escoras de aço, representada na fig. 10. Supondo que se deseja construir um modelo homogéneo com secções rectangulares, terá de ser:

— para a viga

$$h_m = \frac{1}{\lambda'} \sqrt{\frac{12\, I_p}{S_p}}$$

$$b_m = \frac{S_p}{h_m\, C_1} \cdot \frac{E_b}{E_m}$$

onde S_p e I_p representam a área e o momento de inércia das secções homogeneizadas, e E_b o módulo de elasticidade do betão. Mesmo que a viga seja de secção constante, S_p e I_p serão variáveis de secção para secção, em virtude das armaduras, donde resulta que h_m será também variável assim como b_m.

Se for desprezível o efeito das deformações devidas ao esforço normal na distribuição dos esforços na estrutura, terá de se verificar sòmente

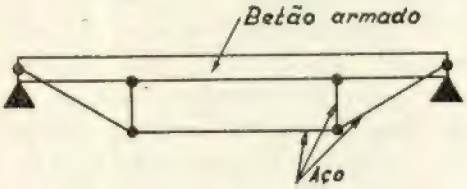


Fig. 10

$$h_m = \sqrt[3]{\frac{12\, I_p}{C_3\, b_m}} = \sqrt[3]{\frac{12\, I_p}{C_1\, \lambda'^2\, b_m} \cdot \frac{E_b}{E_m}}$$

a espessura da viga do modelo pode agora ser constante, continuando a altura a ser em geral variável.

— para o tirante e escoras

Supondo-os articulados entre si nas fibras médias, terá sòmente de se verificar

$$h_m = \frac{S_p}{C_2\, b_m} = \frac{S_p}{C_1\, b_m} \cdot \frac{E_a}{E_m}$$

onde E_a designa o módulo de elasticidade do aço.

Deve notar-se que à constante arbitrária C_1 se tem de dar o mesmo valor nas expressões anteriores e nesta.

No caso das deformações longitudinais da viga serem desprezíveis, a espessura de todo o modelo pode ser constante.

Se a estrutura se encontrar em equilíbrio dinâmico, terão de se verificar as relações (14).

Capítulo III

CONSTRUÇÃO DOS MODELOS

A. — Escalas

34. — Ao desejar-se empreender um estudo sobre modelo é necessário, em primeiro lugar, escolher a escala e os materiais, problemas que estão ìntimamente relacionados.

A escala próxima da unidade tem a vantagem de permitir reproduzir no modelo, com toda a fidelidade, as características do protótipo, tais como, formas, tipos de ligações entre as peças, tensões iniciais resultantes do processo de construção, particularmente importantes em estruturas soldadas e de betão armado, etc.

Porém, no caso de estruturas de grandes dimensões, que são as mais correntes na engenharia civil, tal escala não pode ser em geral adoptada, quer por razões económicas quer pelo tempo que é necessário dispender com a construção do modelo. Além disso, em modelos de grandes dimensões, as observações, além de muito demoradas, são mais difíceis e consequentemente menos precisas, sobretudo se têm de ser realizadas ao ar livre e portanto sujeitas às influências das variações de temperatura, humidade, etc.; levanta-se, ainda, a dificuldade da preparação das montagens necessárias para a aplicação de solicitações, quer se trate de forças, dadas as intensidades necessárias, quer se trate de variações de temperatura, etc.

A diminuição da escala arrasta, dum modo geral, economia, rapidez e facilidade dos estudos sobre modelos, podendo estes factores variar extraordinàriamente com o valor da escala; citamos o caso de estudos de modelos de gesso de barragens espessas nos quais o tempo necessário à execução dos modelos poderá reduzir-se a 1/5 quando a escala passa a metade. Uma das consequências mais importantes da diminuição da escala é a diminuição, na razão do quadrado da escala, das grandezas das forças a aplicar para produzir as mesmas tensões, pois daí resulta, por via de regra, uma economia essencial.

Porém, quanto menor é a escala do modelo tanto maior é a dificuldade de reprodução das formas e de outras características da construção, devendo notar-se, no entanto, que é em geral possível efectuar muitas simplificações nas formas, quer desprezando certos pormenores quer substituindo peças por outras com deformabilidade conveniente, como foi feito no artigo 27, sem que tal comprometa a precisão dos resultados. No caso de modelos em que se tem de considerar a estabilidade do equilíbrio há necessidade de cuidar especialmente da fidelidade de reprodução do protótipo no que diz respeito aos empenamentos das peças e às suas ligações.

Ao fixar a escala mínima que será possível adoptar para um modelo é necessário ter em conta:

— as peças de menores dimensões a reproduzir no modelo, as quais não devem ficar com dimensões tão pequenas que seja difícil a sua construção e observação;

— a precisão com que se pode realizar o sistema de aplicação de cargas ou de outras solicitações;

— a precisão, dimensões e modo de colocação da aparelhagem de medição, em especial as bases de medida dos extensómetros em face dos gradientes de deformação que se prevejam.

No caso de estruturas com grandes dimensões e de formas simples chega-se a adoptar para os modelos escalas da ordem de $\frac{1}{500}$.

No caso particular de estruturas de pequenas dimensões, como alguns órgãos de máquinas, é por vezes aconselhável adoptar para os modelos escalas superiores à unidade.

B. — Materiais

35. — A escolha dos materiais a utilizar na construção de modelos é um problema bastante delicado da resolução do qual depende em grande parte o sucesso dos métodos experimentais.

Os materiais devem obedecer às seguintes condições gerais:

— ter as propriedades mecânicas exigidas pela semelhança mecânica, não devendo estas propriedades ser apreciàvelmente afectadas pelas variações acidentais da temperatura e da humidade ambientes;

— ser fàcilmente trabalhados e ligados;

— ter a deformabilidade necessária para que, sob a acção de solicitações de intensidade fàcilmente realizável, se atinja a precisão exigida na medição de deslocamentos, extensões e tensões, com a aparelhagem de que se disponha;

— permitir fàcilmente a montagem, quer na superfície quer no interior, da aparelhagem necessária às medições;

— ser económicos.

Fig. 11

36. — Quando se deseja conhecer o comportamento de um protótipo constituído por materiais com propriedades mecânicas complexas, tais como não linearidade das relações tensões-deformações, irreversibilidade das deformações e fluência, deve-se então averiguar, em primeiro lugar, a possibilidade do modelo ser constituído pelos mesmos materiais do protótipo. Mesmo em modelos constituídos pelos materiais usados correntemente na construção não há, geralmente, dificuldade em efectuar medições de deslocamentos, deformações e tensões, dada a precisão da aparelhagem de que hoje se dispõe. Levanta-se por vezes a dificuldade de satisfazer à condição de semelhança $F_m = \frac{1}{\lambda^2} F_p$ a qual exige com frequência forças de intensidade difícil de realizar no laboratório e apoios capazes de suportarem sem deformações inconvenientes as correspondentes reacções.

Fig. 12

Acontece, porém, muitas vezes, ser difícil ou mesmo impossível construir os modelos com os mesmos materiais do protótipo.

Assim, em modelos de obras de betão armado, como já foi referido no artigo 13, não é possível utilizar o mesmo betão quando as dimensões do cascalho são excessivas em face das do

modelo [1]. Tal foi o caso dos modelos de betão armado, às escalas $\frac{1}{10}$ e $\frac{1}{50}$ representados nas figs. 11 e 12; são modelos de um muro guia do evacuador de cheias de uma barragem (fig. 13), com os quais se estudou o comportamento do muro até à rotura sob a acção das forças exercidas pelas comportas por intermédio de vigas metálicas, em especial a concentração de tensões no contacto das vigas com o betão (os modelos das figs. 11 e 12 estão rodados de 90° em relação ao protótipo). Os resultados fornecidos pelos dois modelos foram perfeitamete concordantes, incluída a forma das roturas.

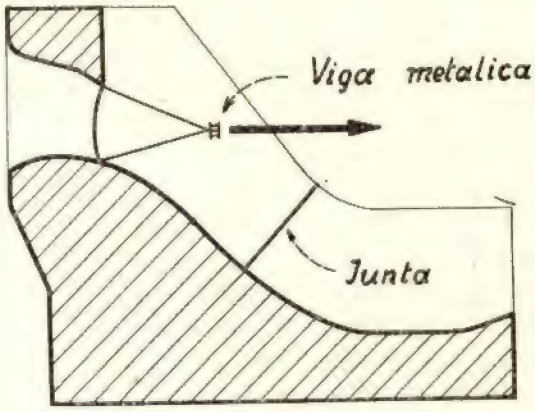


Fig. 13

No caso de modelos de obras de betão armado construídos com o mesmo betão do protótipo, pode ser necessário ter em conta a influência de certos factores como condições de secagem diversas e efeitos de parede diferentes (artigo 12).

Para modelos de estruturas metálicas, assim como de obras de betão armado, surge frequentemente a dificuldade de encontrar no mercado perfis, chapas e varões com as dimensões exigidas pela semelhança e com as mesmas propriedades dos aços usados na construção. Pode, por isso, ser-se obrigado a fabricar especialmente os perfis, a partir de chapas que são laminadas até à espessura conveniente, o que encarece apreciàvelmente a construção dos modelos. Quanto aos varões dos modelos de betão armado é muitas vezes possível a substituição de grupos de varões por um só varão de modo a utilizar os diâmetros de que se dispõe.

As chapas e varões de pequenas dimensões existentes no mercado são geralmente recozidos mas é, por via de regra, possível conferir-lhes propriedades análogas às dos aços de construção, submetendo-o a uma estiragem sob tensão conveniente (fig. 14).

Na figura 15 está representado um modelo, geomètricamente semelhante, à escala $\frac{1}{6}$, duma torre para uma linha de alta tensão; foi construído com perfis fabricados de chapas de ferro recozido, não tendo por isso permitido senão o estudo em fase elástica, o qual conduziu a economias importantes.

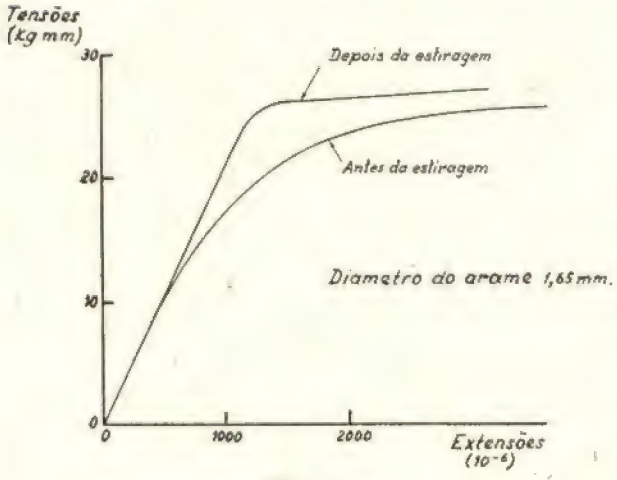


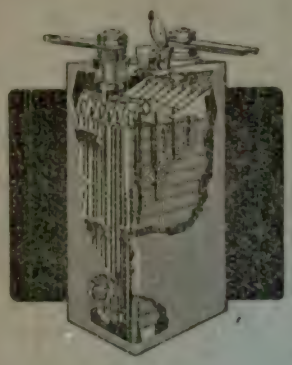
Fig. 14

Quando se utilizam nos modelos os mesmos materiais do protótipo, pode ainda acontecer que, além das dificuldades já apontadas, as condições gerais a que devem satisfazer os materiais para modelos, referidas no artigo 35, não sejam satisfatòriamente respeitadas. Assim, há materiais que se prestam melhor do que os materiais de

[1] O prof. Torroja tem levado a cabo, no Laboratório Central de Ensayo de Materiales de Construccion, Madrid, um elevado número de ensaios de modelos de argamassa, especialmente de abóbadas delgadas.

BATERIAS Tudor ALCALINAS

CÁDMIO — NÍQUEL

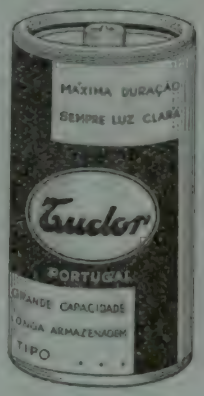


PARA: TELEFONES — RÁDIO-RECEPTORES AERODÍNAMOS — CENTRAIS ELÉCTRICAS ILUMINAÇÃO DE SOCORRO — CAMINHOS DE FERRO — APARELHAGEM MEDICINAL TRACÇÃO — LABORATÓRIOS — ETC.

SOCIEDADE PORTUGUESA DO ACUMULADOR **TUDOR** S. A. R. L.

PILHAS SECAS

Tudor



PARA: LANTERNAS — CAMPAINHAS — RÁDIO-RECEPTORES TELEFONES — TELÉGRAFO — SINALIZAÇÃO APARELHAGEM MEDICINAL — APARELHOS DE SURDEZ — ETC.

•

TODAS AS PILHAS SECAS DE TODAS AS MARCAS SE DESCARREGAM COM O TEMPO...

COMPRAR PILHAS SECAS Tudor **É COMPRAR PILHAS RECÈM-FABRICADAS**

17 ANOS DE FABRICAÇÃO EM PORTUGAL

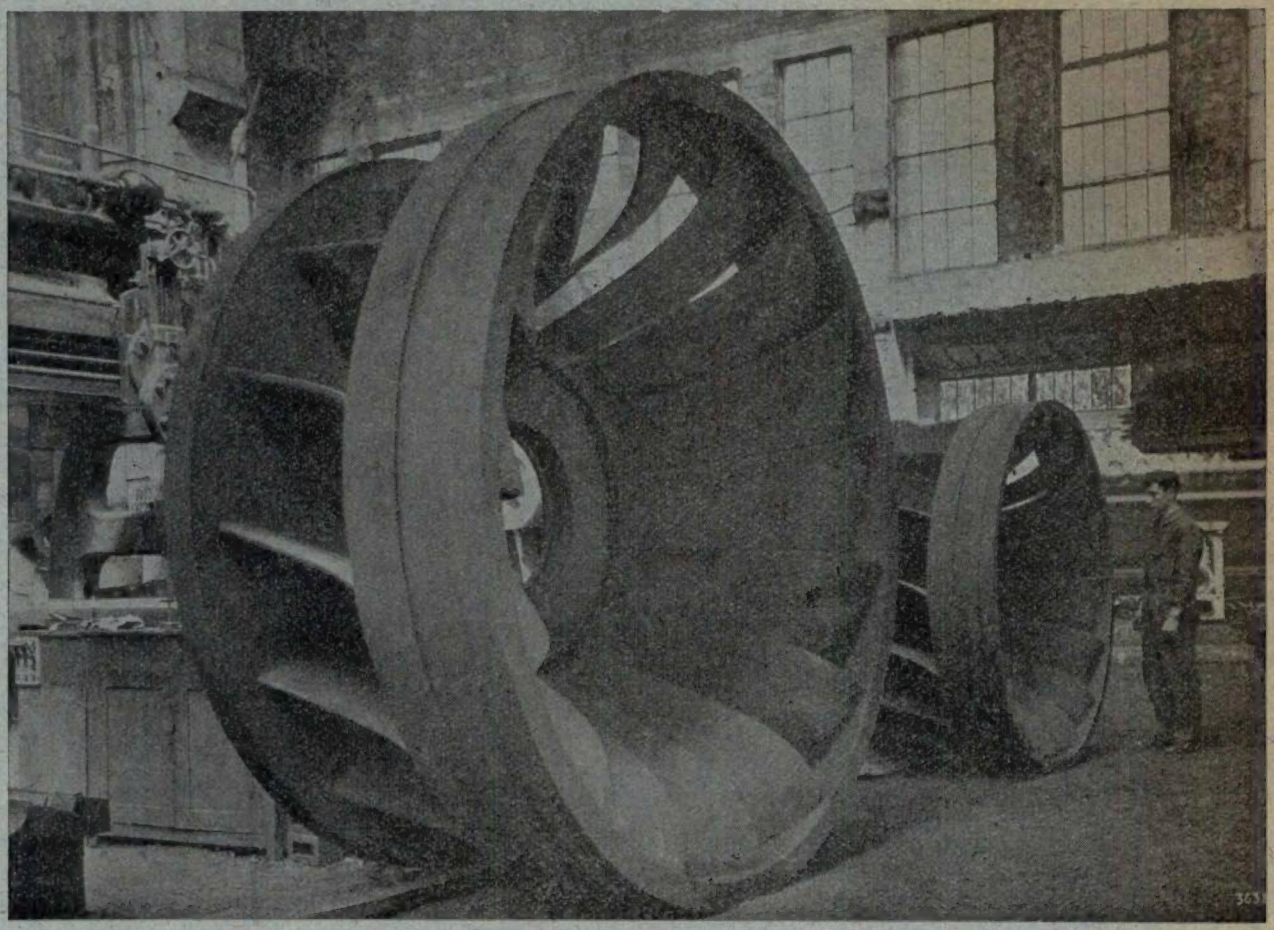
ATELIERS NEYRET-BEYLIER & PICCARD-PICTET

GRENOBLE

LABORATÓRIO DE ENSAIOS HIDRÁULICOS

EQUIPAMENTOS DE QUEDAS DE ÁGUA — **HIDRÁULICA AGRÍCOLA — REGA**

EQUIPAMENTOS DAS GRANDES BARRAGENS



Rodas para turbinas «FRANCIS» de 56.000 CV e 28.000
CENTRAL DE CORDEAC

EM PORTUGAL:

LABORATÓRIO DE HIDRÁULICA
NA AMADORA

"NEYRPIC"

R. Vice-Almirante João António de Azevedo Coutinho
AMADORA Telef. VENDA NOVA 48

construção correntes para o fabrico de modelos e com os quais as observações são mais fáceis, quer por serem mais deformáveis quer por ser mais fácil a montagem da aparelhagem de medida.

Afigura-se-nos com muito interesse o estudo sistemático, que ainda não foi feito até hoje, de materiais diferentes dos dos protótipos, que permitam reproduzir com fidelidade as propriedades reais dos materiais de construção correntes, isto é, que satisfaçam às condições expostas no artigo 13. Convirá começar por estudar materiais de estrutura análoga à dos protótipos, tais como betões com inertes de pequenas dimensões ou mesmo argamassas para substituir os betões correntes, etc.

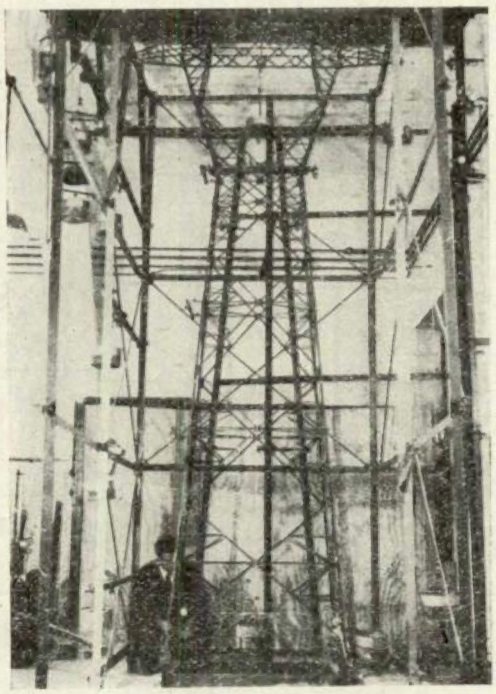


Fig. 15

Quando se julgue necessário averiguar a influência da escala, resultante, quer da influência do gradiente de tensões quer do diverso comportamento de ligações, etc., convém, como já foi referido, comparar o comportamento de modelos do mesmo material com escalas diversas ou mesmo, sòmente, o comportamento de peças de forma simples, geomètricamente semelhantes, submetidas a equilíbrios análogos aos desenvolvidos na estrutura a estudar.

Deve frizar-se que, em qualquer estudo sobre modelo, tem sempre muito interesse a observação de modelos a escalas diferentes, não só para evidenciar qualquer influência da escala mas também para controle dos resultados. Pelo menos convém, por via de regra, observar diversos modelos à mesma escala.

Quando se trata de estruturas com tensões iniciais, é ainda necessário que, como já foi referido, os estados iniciais sejam os mesmos. Não se deve perder de vista esta condição no caso de estruturas de betão pois, mesmo que se use nos modelos o mesmo betão, o tempo em que se atinge uma dada deformação por retracção, sob as mesmas condições de humidade, varia aproximadamente com o quadrado da relação $\frac{\text{volume da peça}}{\text{superfície exposta da peça}}$, isto é, com λ^2 [1].

37. — Quando se admite que o material do protótipo está em equilíbrio elástico, a semelhança impõe sòmente que o material do modelo seja também elástico e tenha um coeficiente de Poisson igual ao do protótipo (artigo 19). Como se viu, nos equilíbrios elásticos as duas dimensões, nos equilíbrios a deformação plana e nos equilíbrios de estruturas, não é mesmo, em geral, necessário que os coeficientes de Poisson sejam iguais, isto é, basta que os materiais dos modelos sejam elásticos.

Quanto ao critério de escolha destes materiais convém que a extensão limite de proporcionalidade seja elevada e o módulo de elasticidade baixo. De facto, sendo aquela extensão elevada podem efectuar-se as medições de deformações com maior precisão, e o valor baixo do módulo permite impor as mesmas deformações com cargas mais pequenas, o que facilita as montagens.

---

(1) L' Hermite, R., «Le retrait des ciments, mortiers et bétons», Circulaire F 37, Institut Technique du Bâtiment e des Travaux Publics, Juin, 1947.

Os materiais com estas propriedades apresentam a maior parte das vezes o inconveniente de possuirem deformações por fluência apreciáveis. Contudo, para os materiais usados correntemente na construção de modelos, pode supor-se, com suficiente aproximação, que existe até tensões elevadas um módulo de elasticidade função do tempo, quer sob tensões constantes quer sob deformações constantes. Deste modo, como se viu no artigo 20, subsistem as relações de semelhança estabelecidas para o caso dos equilíbrios elásticos.

Consideremos um modelo constituído por um material que possui um módulo de elasticidade função do tempo sob deformação constante. Se o modelo é actuado por uma só força ou por forças, F', F'', ..., que fàcilmente se podem aplicar por intermédio de uma única (resultante), F, podem evitar-se as deformações função do tempo, impondo, por meio dessa única força, uma deformação constante ao modelo (fig. 16); então, as grandezas determinadas sobre o modelo a partir da medição de extensões, quer sejam tensões quer momentos, virão expressas em função do módulo de elasticidade, E, o qual pode ser eliminado a partir da consideração das condições de equilíbrio de troços do modelo, convenientemente escolhidos de modo que as grandezas a determinar venham expressas em função das grandezas das forças aplicadas.

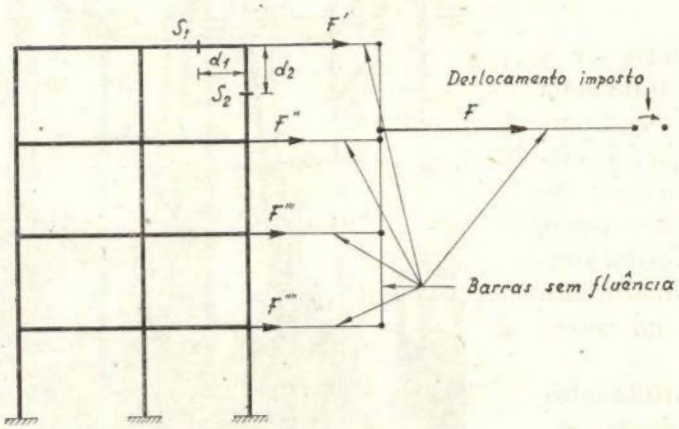


Fig. 16

Assim, para os esforços M_1 N_1 T_1 e M_2 N_2 T_2, desenvolvidos, respectivamente, nas secções S_1 e S_2 da estrutura da fig. 16, considerando a condição de equilíbrio dos momentos (em relação ao centro de gravidade de S_2) do troço compreendido entre essas secções, vem

$$M_1 + N_1 d_2 + T_1 d_1 + F d_2 + M_2 = 0$$

como: $M_1 = a_1 E$, $N_1 = b_1 E$, $T_1 = c_1 E$, $M_2 = a_2 E$, ..., sendo a_1, b_1, c_1, a_2, ... constantes determinadas experimentalmente a partir da medição de extensões, resulta

$$1 + \frac{b_1}{a_1} d_2 + \frac{c_1}{a_1} d_1 + \frac{F}{M_1} d_2 + \frac{a_2}{a_1} = 0$$

expressão que permite determinar M_1 em função da força F', a qual se pode exprimir em função de F. Isto é, obtem-se assim o coeficiente de influência de F em M_1. Anàlogamente se obtinham os coeficientes de influência relativos aos outros esforços.

Suponhamos que, na peça de aplicação da força única F, atrás referida, é intercalado o sistema [1], constituído pelo mesmo material do modelo, representado na fig. 17, ou outro sistema para o qual se conheça a relação entre o deslocamento relativo, δ, de dois pontos A e B, as forças F e o módulo de elasticidade E; então

$$F = K E \delta$$

[1] Tal sistema é designado nos E.U.A. por «spring balance»; Ruge, Schmidt, Pr. A.S.C.E., vol. 64, n.º 8, pg. 1613.

onde K se pode determinar analítica ou experimentalmente. Se for medido o deslocamento δ correspondente a um deslocamento imposto, pode eliminar-se o módulo de elasticidade nas expressões das tensões, momentos, etc., sem recorrer ao estabelecimento das condições de equilíbrio. A utilização deste método é aconselhável quando se trata de modelos de forma complexa onde se deseja fazer determinações numa região restrita as quais não bastem para o estabelecimento das condições de equilíbrio; tem o inconveniente de se introduzir nas grandezas a determinar o valor de δ e, portanto, a influência do erro da sua medição.

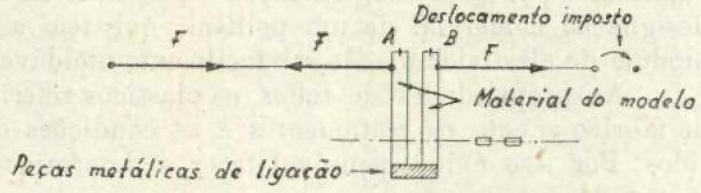


Fig. 17

Os materiais elásticos mais correntemente usados para a construção de modelos são: o celulóide, os plásticos, o gesso e os metais. Além destes materiais vamos ainda referir nos artigos seguintes o caoutchouc e os aglomerados de cortiça. Consideramos à parte os materiais para modelos destinados a ensaios fotoelásticos.

a) *Celulóide*

38. — O celulóide é usado frequentemente na construção de modelos de estruturas lineares planas. Utilizam-se chapas com espessuras até 5 mm, sendo por via de regra conveniente começar por preparar peças de forma simples que depois são ligadas com certos dissolventes orgânicos, em especial com acetona; assim se procedeu na construção do modelo da fig. 50. As peças a ligar devem ser bem ajustadas umas contra as outras e o modelo só deve ser ensaiado após ter decorrido o tempo necessário, que pode ser de alguns dias, para se dar a reconstituição das propriedades do material que é perturbado pelos dissolventes numa certa profundidade.

O celuloide é muito fàcilmente trabalhado com as ferramentas usadas no trabalho dos metais [1]. Devem usar-se ferramentas bem afiadas, manter as suas velocidades baixas e efectuar pequenos cortes, de modo a evitar elevações de temperatura que provoquem alterações de estrutura e instalem tensões iniciais; estas são sobretudo inconvenientes em modelos fotoelásticos. Muitas vezes prefere-se fazer o acabamento das superfícies à lima, sendo então fácil de evitar o aumento de temperatura.

Encontram-se no mercado celuloides com módulo de elasticidade variando de 15.000 a 25.000 $kgcm^{-2}$, e coeficiente de Poisson desde 0,33 a 0,38.

Pode considerar-se, com precisão geralmente suficiente, que o celuloide possui, até tensões da ordem de 300 $kgcm^{-2}$, um módulo de elasticidade função do tempo, o qual poderá ter ao cabo de 20 minutos um valor 10 % inferior ao módulo correspondente a 1 minuto. A extensão limite de proporcionalidade é de cerca de 1,5 %, valor que permite impor aos modelos deslocamentos e deformações de grandeza suficiente para serem medidos com precisão.

As propriedades mecânicas variam apreciàvelmente com a idade, diminuindo as deformações por fluência, e são bastante afectadas pelas flutuações correntes da temperatura e humidade ambientes.

No caso de se imporem deslocamentos ao modelo, tal como em certos métodos que serão referidos na alínea *b*) do Capítulo IV, a configuração inicial do modelo mantem-se no decorrer do tempo.

---

(1) Frocht, «Photoelasticity», vol. I, cap. 10, 1941.